LA ELECTRONICA EN LA INDUSTRIA (I)

NUEVAS TECNOLOGIAS

BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA





BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA

LA ELECTRONICA EN LA INDUSTRIA (I)



Esta obra es una nueva edición actualizada y ampliada de la obra originalmente publicada por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, con el título de «Aplicaciones de la Electrónica»

El contenido de la presente obra ha sido realizado por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, bajo la dirección técnica de José Mompin Poblet, director de la revista «Mundo Electrónico»

ISBN 84-7634-485-6 (Obra completa)
ISBN 84-7634-557-7 (Título completo)
ISBN 84-7634-558-5 (Tomo I/Vol. 11)
D. L.: B. 7873-1986

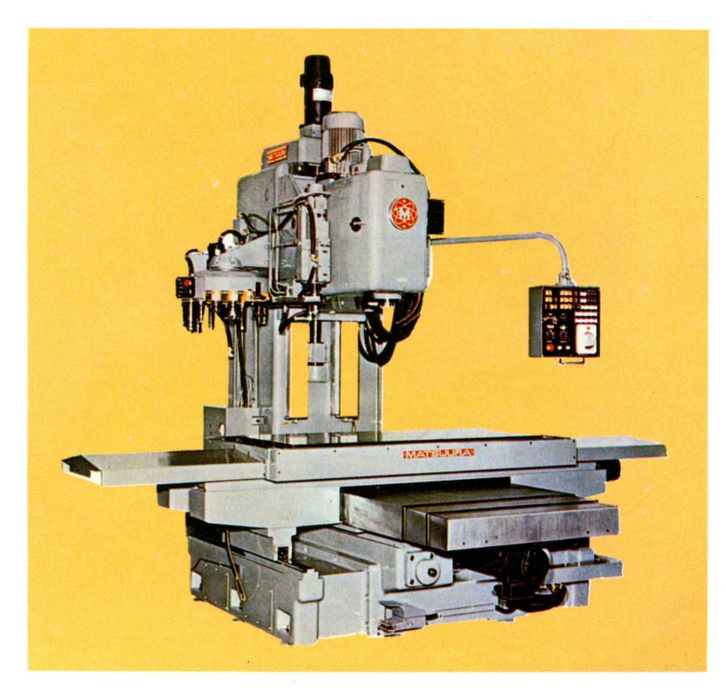
Impreso y encuadernado por
Printer industria gráfica sa Provenza, 388 08025 Barcelona
Sant Vicenç dels Horts 1986

Printed in Spain

La Electrónica en la Industria (I)

ELECTRONICA EN LA INDUSTRIA: ¿POR QUE?

La industria, como sector secundario en la economía, transforma la materia prima en bienes de equipo. La competitividad, que se establece permite que lleguen al mercado productos más apetecibles y baratos. Ello se debe a que los procesos industriales de transformación, manipulación, etc., son cada vez más racionales, rápidos, automatizados y de menor coste. Para conseguir estos



Las máquinas-herramientas, imprescindibles en muchos talleres mecánicos, son unos sistemas muy influidos por los aparatos de control y regulación electrónicos.

objetivos se requiere una fuente energética relativamente barata, flexible, controlable y de fácil obtención que a la vez sea accesible a la industria: la *electricidad.*

La *electricidad* tiene limitaciones evidentes en los campos de la regulación, el control y la automatización y es la Electrónica quien viene a superar estos inconvenientes.

Los sistemas electrónicos, por medio de sus componentes, permiten convertir, controlar, regular, amplificar, etc., las señales eléctricas. Tales sistemas, reciben señales eléctricas elementales (un final de carrera que ha sido conmutado, la señal eléctrica proveniente de una sonda de temperatura o de presión, una toma directa de la red de corriente alterna, las señales eléctricas producidas a partir de una célula solar, de sondas electroquímicas, colorimétricas, de humedad, etc.), y las procesan proporcionando otras, generalmente eléctricas, que el hombre precisa para manejar sus máquinas. Esta es la razón de ser fundamental de la Electrónica en la industria.

Del mismo modo, con la Electrónica, pueden controlarse con toda fiabilidad los parámetros y constantes de un proceso químico industrial complejo.

Con la Electrónica aplicada a la industria, las máquinas textiles alcanzan niveles de velocidad y sofisticación inimaginables hace unos lustros.

Los aviones e ingenios aeroespaciales, no podrían volar, sin los complejos equipamientos de que disponen los fabricantes, que hacen posible el proyecto y la prueba simulada del mismo mediante complejos sistemas electrónicos. El elevado grado de productividad y de calidad del trabajo efectuado por las máquinas empaquetadoras, permite que lleguen a nuestro domicilio alimentos, medicamentos, etc., debidamente conservados e higienizados; esto no sería posible sin la Electrónica.

Por todo lo expuesto y por la infinidad de referencias que podrían darse, es fácil comprender la importancia de la Electrónica en la industria de los años 80, hasta el punto de poder afirmar que una y otra son consustanciales. ¡Y el futuro es todavía mejor!

En este libro y el siguiente, se tratarán aspectos y aplicaciones de la Electrónica en la industria, dejando de lado rigurosismos dogmáticos superfluos y realzando, por el contrario, aplicaciones concretas que puedan ser de utilidad al lector, sin olvidar los aspectos formativo y generalizador

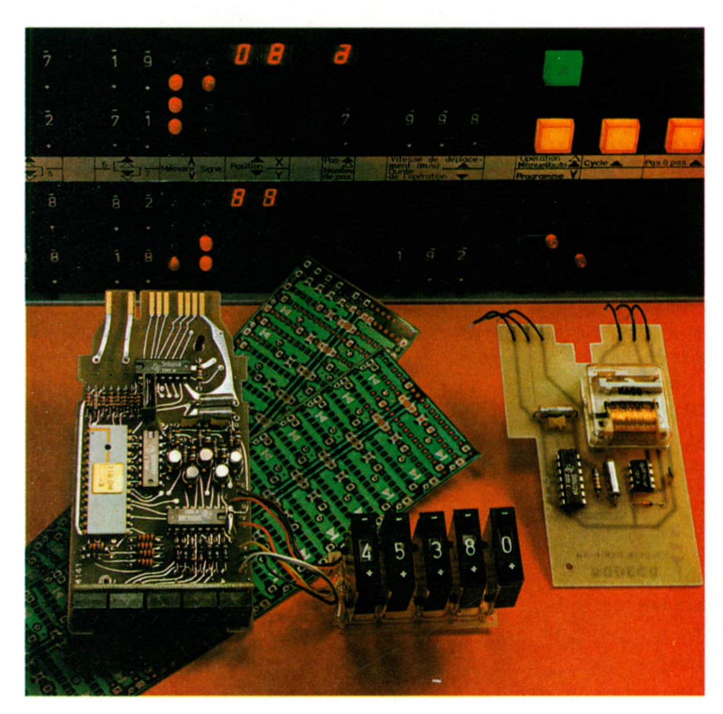
que permitan comprender el contenido y evolución de la Electrónica Industrial cuando los sistemas no sean exactamente los mismos que se expondrán más adelante.

Se tratarán en primer lugar los fundamentos de la regulación y el control electrónico, pasando posteriormente a estudiar diferentes aparatos electrónicos de metrología industrial cuyo uso es general, exponiéndose finalmente los sistemas básicos y comunes a la mayoría de los sistemas electrónicos industriales.

Resaltamos la importancia que tiene para el lector el comprender la utilidad y modo de funcionamiento de los sistemas que se exponen.

TECNICAS ELECTRONICAS DE CONTROL Y REGULACION INDUSTRIALES. SERVOSISTEMAS

Para poder comprender los sistemas electrónicos de

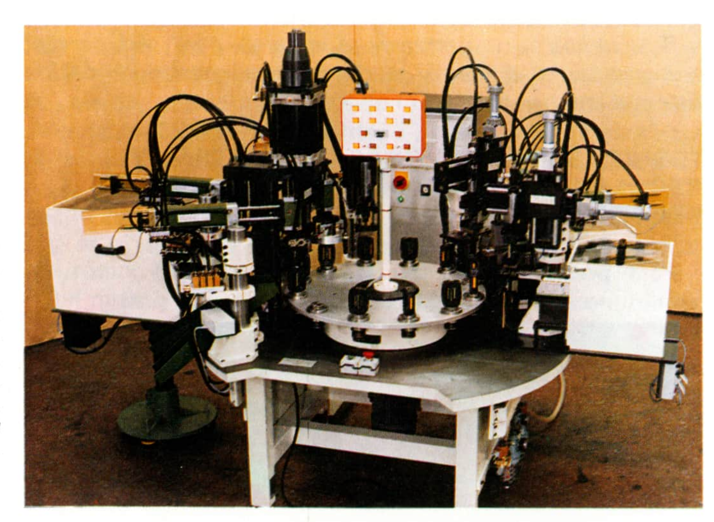


Los circuitos integrados forman parte de los controles electrónicos para aplicaciones industriales. Detalle de un contador digital, con preselección, de cinco décadas (dígitos) y relé de excitación del elemento de maniobra.

regulación y control es preciso conocer los fundamentos en que se apoyan estas técnicas.

Como más adelante se verá, su importancia es capital para una perfecta asimilación del concepto de automatismo.

En todo lo que sigue a continuación, se ha procurado prescindir de las matemáticas, insistiendo en los conceptos básicos y su paralelismo con situaciones reales.



La electrónica, como sistema de mando de elementos de accionamiento neumático, compite ventajosamente con otros sistemas similares. Detalle de máquina automática para ensamblar pedales de bicicleta mediante control electrónico y accionamiento neumático. (Cortesía: Aurki-Fagor).

Para ver claramente en qué consiste el control efectuado por un sistema electrónico, exponemos seguidamente un ejemplo frecuente en nuestra vida cotidiana: cuando se conduce un automóvil debe tenerse sobre él, un dominio suficiente para mantener el volante y manejarlo, al igual que con los pedales del freno, acelerador y embrague, los mandos de luces de alumbrado y señalización, etc., con el fin de seguir el camino deseado, evitar colisiones, cumplir las normas de tráfico y todos aquellos aspectos propios de la circulación.

¿Qué es, pues, el control?

> *Controlar es influir en una o varias magnitudes, dentro de unos límites preestablecidos a través de magnitudes distintas de las controladas.*

En el caso del ejemplo automovilístico, podemos acelerar más o menos (controlamos la velocidad), podemos girar a derecha e izquierda (controlamos la dirección) etc.



Figura 4. En un sistema no regulado, como es el caso de la figura, es preciso accionar el mando de velocidad de la máquina-herramienta para mantener la velocidad cuando se carga mecánicamente el husillo portaherramientas.

Como aspecto fundamental del control, hay que destacar que la influencia ejercida sobre las magnitudes a controlar, no incide sobre la influencia misma. Por ejemplo: el hecho de que se haya acelerado más el automóvil aumentando la velocidad (que es la magnitud controlada), no tiene ninguna incidencia en nuestra presión del pie en el acelerador (influencia). Eso es: en un sistema de control electrónico, la salida o magnitud controlada no influye sobre la causa que dio origen a dicho control.

A este tipo de sistemas se les da el nombre de *sistemas de bucle abierto* (más adelante se hará hincapié con detalle en este punto). Estos sistemas difieren de los de *bucle cerrado* o realimentados, como se verá en párrafos posteriores.

Otro ejemplo, ya en el terreno industrial, es el del control electrónico de la velocidad de un motor eléctrico que hace girar un cabezal porta-herramientas (figura 4).

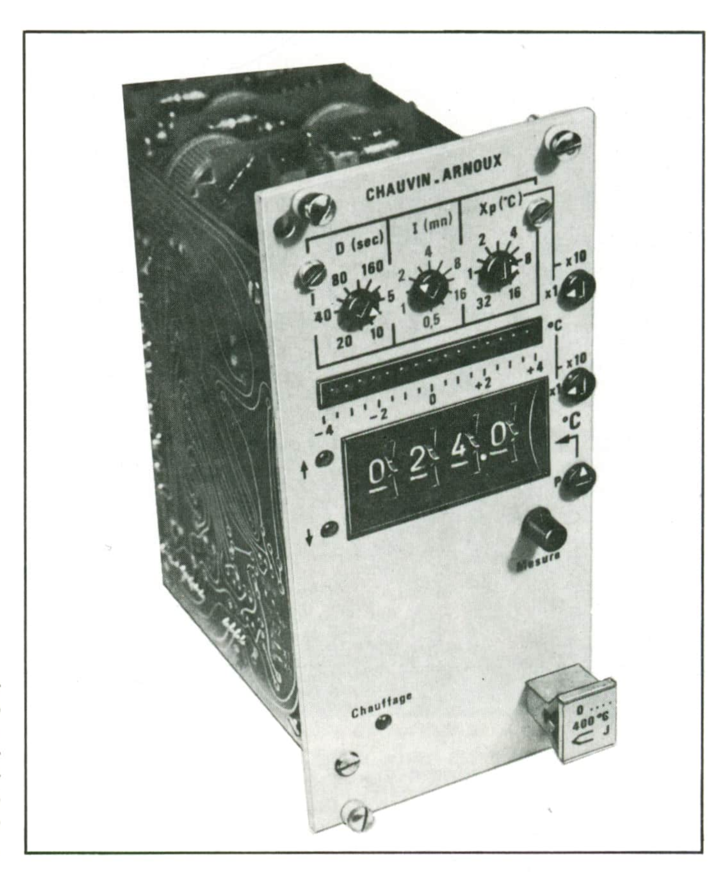


Figura 5. Los reguladores electrónicos de temperatura son, actualmente, aparatos sofisticados pero muy versátiles. Detalle de un regulador electrónico con preselección digital.

Mediante el mando de control aumentamos o disminuimos a voluntad la velocidad, pero cuando, por una solicitud de par de giro superior o inferior, la velocidad del cabezal disminuya o aumente, el sistema electrónico no será capaz por sí mismo de aumentar o disminuir la velocidad, y deberá efectuarse una nueva acción de control manejando el mando adecuadamente si se desea mantener el régimen inicial de giro.

Volviendo al ejemplo automovilista, frente a una subida deberá de empujar con más fuerza el acelerador (influencia de control) si desea mantener la velocidad (magnitud controlada).

Existen otros tipos de sistemas electrónicos industriales que permiten, más que controlar o influir sobre un proceso, regularlo en sí mismo, atendiendo a la situación en la que dicho proceso se encuentra en cada instante.

Volvamos al conductor, al que esta vez se ha proporcionado un automóvil cuya velocidad puede ser programada.

Una vez el vehículo en marcha, el conductor establece la velocidad de crucero que desea y se lanza autopista adelante.

Ante una subida, la detección de que la velocidad comienza a disminuir, hace que el sistema de regulación suministre más combustible al carburador, incluso cambiando de relación de velocidad, si procede, con el fin de mantener la velocidad en el valor prefijado. En una cuesta abajo el comportamiento será totalmente inverso, proporcionando la retención adecuada al vehículo de manera que su velocidad esté regulada también dentro del valor prefijado.

Un sistema de regulación es aquel mediante el cual se mantiene un valor o valores preestablecidos para unas determinadas magnitudes.

Se observa claramente que la diferencia fundamental entre un sistema de control y un sistema de regulación es que la magnitud controlada (velocidad en el ejemplo) incide sobre la influencia (mayor o menor combustible al carburador) en el caso de la regulación, mientras que en un sistema de control no es así, tal como se explicó antes. Debido a esto, se dice que un sistema de regulación es un *sistema de bucle cerrado.* Se considera a continuación otro ejemplo de regulador electrónico aplicado a la industria, un regulador electrónico de la temperatura de un baño químico para tratamiento de superficies metálicas en el que resaltamos las secciones más importantes del mismo:

Un calefactor, responsable de elevar la temperatura del baño.

Un termómetro para medir la temperatura del fluido.

Un agitador, como responsable de refrigerar el baño, si procede.

En el sistema regulador se prefijarán una temperatura mínima del baño y otra máxima (figura 5).

Cuando se conecte el sistema, el termómetro transmitirá al regulador señal de que el baño está frío, entonces el sistema regulador conectará el calefactor y el baño irá aumentando su temperatura. Cuando la temperatura alcance su máximo prefijado, el termómetro señalará tal eventualidad, a lo que el regulador responderá desconectando el calefactor y conectando el agitador, disminuyendo por ello la temperatura del baño hasta su valor mínimo, tras lo cual volverá a actuar el regulador desconectando el agitador y conectando el calefactor, y así sucesivamente. Obsérvese que la magnitud regulada (temperatura) incide directamente sobre la influencia de regulación (calefacción o agitación), y ésta a la vez, sobre la magnitud regulada (temperatura).

Una vez explicado de forma más bien intuitiva qué son los sistemas electrónicos de control y regulación, habiéndonos apoyado para ello en ejemplos cotidianos o específicamente industriales, se van a tratar a continuación estos conceptos fundamentales para entender la Electrónica Industrial desde un rigor conceptual más profundo, de forma que el lector pueda acceder a conocimientos más especializados partiendo de una base suficiente.

Hasta ahora se ha hablado de sistemas electrónicos de control y regulación y es necesario decir aquí que un sistema electrónico es *un conjunto de componentes electrónicos que, debidamente interconectados, cumplen un objetivo prefijado.*

Su imagen más abstracta es un rectángulo, a modo de «caja negra», de la que, por ahora, interesa más el conocimiento de las funciones que realiza que las causas que permiten realizar tales funciones (figura 6).

Para conocer un sistema de control o regulación es preciso saber cuál es la relación que guardan las entradas y las salidas entre sí. En síntesis, se dirá que una salida cualquiera, S, es función o depende de las entradas: E_1, $E_2, \ldots, E_n$ (para n entradas), si es:

$$S_j = f_j(E_1, E_2, \ldots, E_n)$$

Comprenderemos el sistema perfectamente, si conocemos

todas y cada una de las salidas en función de las entradas.

$$S_1, S_2, S_3, \ldots, S_m$$

$$S_1 = f_1(E_1, E_2, \ldots, E_n)$$
$$S_2 = f_2(E_1, E_2, \ldots, E_n)$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$S_m = f_m(E_1, E_2, \ldots, E_n)$$

En la práctica, dicho sistema de ecuaciones, que puede llegar a ser muy complejo, acostumbra a quedar circunscrito

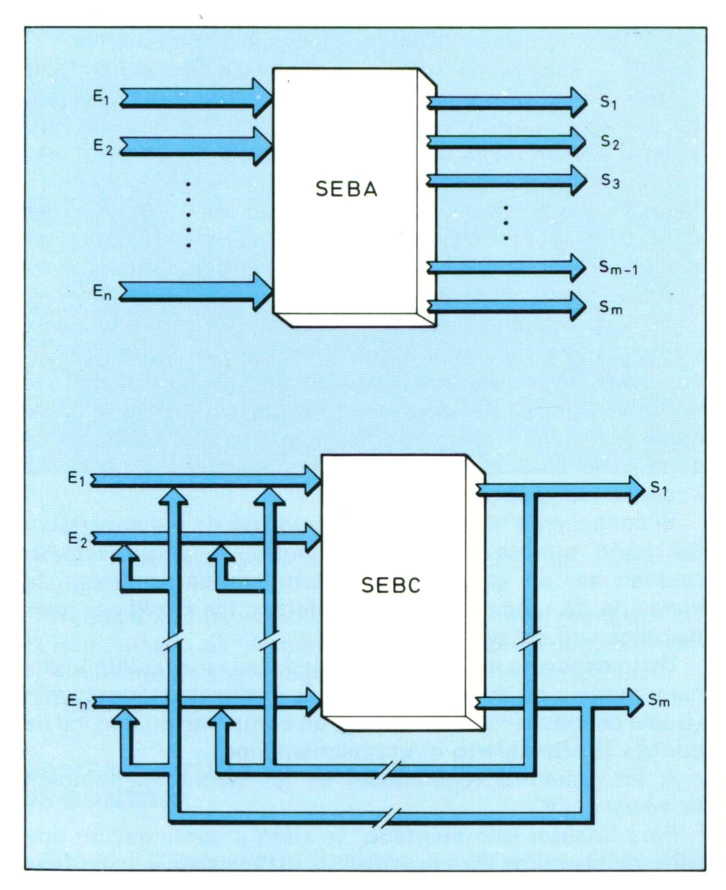


Figura 6. Diagrama de bloques de sistemas electrónicos de bucle abierto (SEBA) y de bucle cerrado (SEBC).

al conocimiento de una o pocas variables y su forma de influencia.

En los sistemas de control y regulación se manejan distintos tipos de señales:

1) *Continuas.* Procesan tensiones y corrientes continuas.
2) *Alternas.* Procesan tensiones y corrientes alternas.
3) *Mixtas.* Procesan tensiones y corrientes tanto continuas como alternas.
4) *Impulsos.* Procesan trenes de impulsos digitales (niveles *1* y *0* lógicos).

Anteriormente se ha dicho que los sistemas de control son de *bucle abierto.* Esto es así porque la entrada o entradas *E* son las únicas influencias o variables que controlan las magnitudes o salidas *S*.

En un sistema de *bucle abierto* a cada condición de entrada corresponde una única condición de funcionamiento o salida; por ello, el sistema de control será tanto más preciso cuanto mejor sea su calibración, y la calidad de los componentes usados.

Cualquier perturbación o desajuste que ocasione un desequilibrio lo inhabilita para realizar su función, ya que no dispone de la posibilidad de autocorrección por ser las entradas independientes de sus salidas.

En cuanto a los sistemas de regulación, que eran denominados de *bucle cerrado,* la acción de regulación efectuada por el sistema depende tanto de las variables de entrada como de las de salida. A este proceso se le llama *realimentación* de la salida a la entrada y tiene por finalidad corregir el error que pudiese tener lugar en la salida al aparecer *perturbaciones.*

Si se recuerda el sistema de regulación de la temperatura del baño que se citó anteriormente, las perturbaciones podrían ser en aquel caso: la temperatura ambiente, la variación de rendimiento del calefactor, las modificaciones de velocidad del agitador, etc.

De lo expuesto hasta ahora, se deduce la mayor importancia y número de aplicaciones de los sistemas de regulación (bucle cerrado o realimentados), en comparación con los de control (bucle abierto o no realimentados).

A los sistemas reguladores se les denomina también *servosistemas.*

Para finalizar este apartado, se citan a continuación una serie de ejemplos significativos de servosistemas electróni-



El control de cualquier equipo industrial o de investigación resulta imprescindible para obtener una medición correcta y rápida de todos los parámetros que intervienen.

cos aplicados a la industria:

1) Estabilizadores de tensión para unidades de alimentación.
2) Reguladores de velocidad tangencial, lineal y angular.
3) Reguladores de temperatura, presión, pH, color, luz, etc.
4) Aceleradores y embragues regulados, de uso general.
5) Reguladores dinámicos de proceso.

NOMENCLATURA DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

Se van a tratar en este apartado, los restantes conceptos

teóricos (no por ello menos importantes) del presente libro.

Según el tipo de realimentación o acción reguladora, los servosistemas pueden encuadrarse en alguno de los siguientes grupos:

1) *Reguladores fijos.* En estos sistemas la autocompensación es tal que la variable de salida se mantiene dentro de unos valores fijos preestablecidos, independientemente de las perturbaciones externas.
2) *Reguladores seguidores.* En éstos, el sistema de autocompensación permite que la salida siga los valores marcados por la señal tomada como referencia.
3) *Reguladores con modelo.* Se comportan de manera similar al anterior, pero aquí el modelo compara en cada caso su respuesta con el del servosistema y la señal de corrección es función de tal diferencia.
4) *Regulador dinámico.* La capacidad de autorregulación en el sistema no se corresponde a valores fijos sino dinámicos, siguiendo, dentro de la banda de variación, la acción necesaria para mantener el sistema regulado.
5) *Regulador con «memoria».* En estos sistemas, se ha «programado» o «enseñado» al sistema cómo responder a perturbaciones externas.

Con el fin de iniciar un estudio estructural y por bloques de los sistemas de regulación, permitiendo desarrollar las técnicas de adaptación entre ellos, se pasa revista a continuación, a sus elementos constitutivos: *generador de referencia* (GR), *captador de salida* (CS), *comparador* (C), *corrector* (CR), *amplificador* (A), *actuador* (AR) (figura 8).

GR

Es el sistema responsable de generar la señal que se encarga de prefijar los valores de la salida. Las magnitudes pueden ser constantes o variables, y las más frecuentes, en lo que a sistemas electrónicos se refiere, son las tensiones y las corrientes eléctricas.

CS

Es el encargado de medir en todo instante el valor de la salida. Está formado por un sensor, responsable de captar directamente la señal de salida (sonda de temperatura, generador tacométrico, sonda fotométrica, etc.), y un

transceptor, responsable de transformar la magnitud detectada en señal inteligible para el servosistema.

C

Compara las salidas con las referencias de regulación consideradas. El comparador, en suma, indica el posible error entre el valor real y el esperado de la salida.

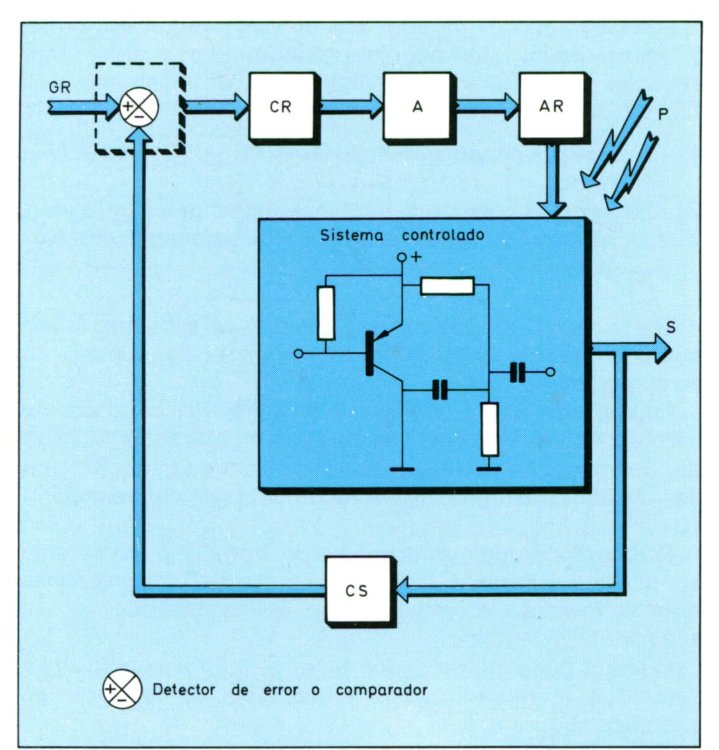


Figura 8. Diagrama de bloques de un servosistema; GR = generador de referencia; CR = corrector; A = amplificador; AR = actuador, y CS = captador.

CR

Procesa adecuadamente la señal que proporciona el comparador y entrega una señal que tienda a corregir aquel error.

A

Amplifica la señal que proporciona el corrector, de forma que sea capaz de accionar el actuador.

AR

Es el elemento final de maniobra, de forma que acciona los dispositivos responsables de la función reguladora (relés, válvulas, pistones, engranajes, mecanismos, etc.).

Los *diagramas de bloques* son una representación formal y estructurada, que permiten comprender y desarrollar sistemas de regulación complejos. Los elementos que forman parte de estos diagramas son:

1) *Los bloques de transferencia:* (GS), (CS), (C), (CR), (A), (AR), etc.
2) *Los nudos:* sumadores, diferenciadores, ramificadores.
3) *Las señales:* entradas, salidas, referencias, perturbaciones, etc.

Los servosistemas complejos, pueden considerarse como agrupaciones de bloques de transferencia conectados en serie, paralelo o mixtos.

Capital importancia tiene la *representación canónica* de un diagrama de bloques, que consiste en una simplificación del diagrama resultante convirtiéndolo en una sola función de transferencia (T) y una sola función de realimentación (R).

Para poder reducir un diagrama de bloques de un sistema complejo a su forma canónica, es preciso conocer unas normas básicas de simplificación que a continuación se señalan.

El lector podrá comprender de forma intuitiva cómo se ha llegado a la representación matemática de la respuesta canónica (figura 9).

Como final de este apartado, es preciso resaltar que la abstracción conceptual que permiten los diagramas de bloques es de tal importancia que todo profesional, que trabaje o desee trabajar en servosistemas, debe dominar estas técnicas de representación y simplificación para alcanzar la comprensión del funcionamiento de estos sistemas electrónicos tan importantes para la industria.

Es de destacar también que, a pesar de la especialización

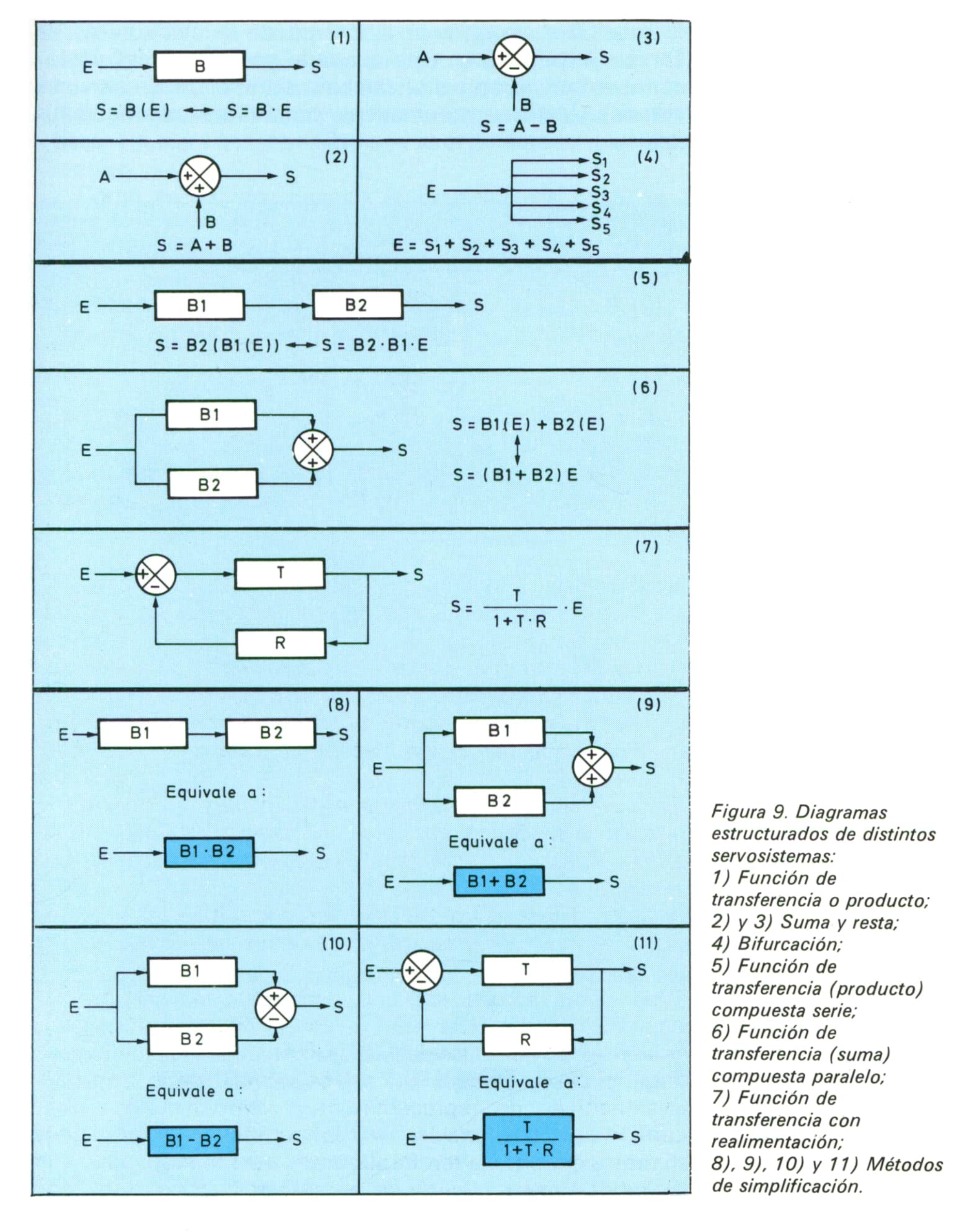


Figura 9. Diagramas estructurados de distintos servosistemas:
1) Función de transferencia o producto;
2) y 3) Suma y resta;
4) Bifurcación;
5) Función de transferencia (producto) compuesta serie;
6) Función de transferencia (suma) compuesta paralelo;
7) Función de transferencia con realimentación;
8), 9), 10) y 11) Métodos de simplificación.

de esta obra circunscrita al campo de la electrónica, las técnicas expuestas en este apartado no son válidas únicamente en este campo, sino también extrapolables a sistemas (servos) eléctricos, neumáticos, hidráulicos, oleoneumáticos, etc.

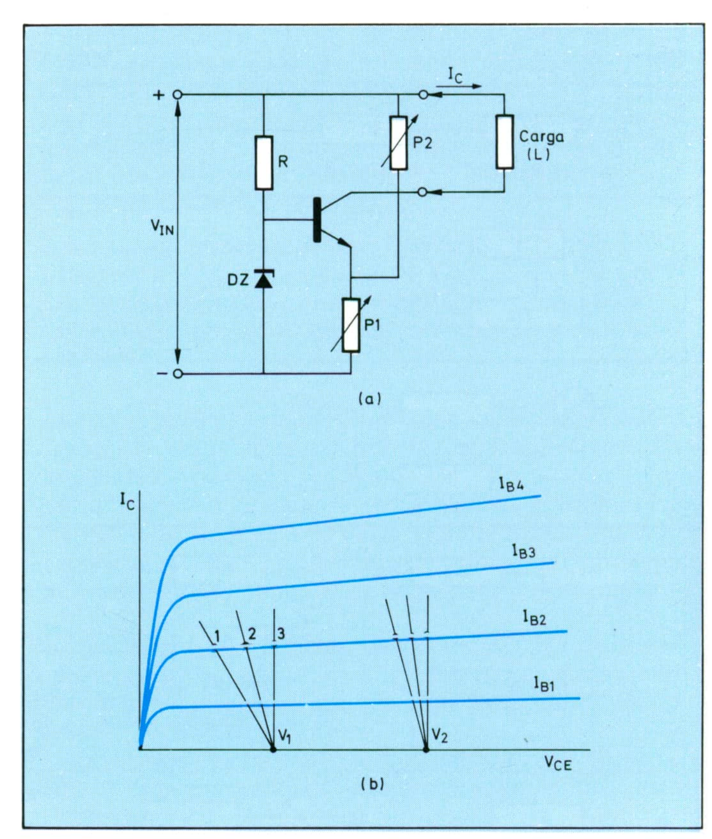


Figura 10. a) Esquema básico de un regulador de corriente; b) Curva característica del transistor del esquema anterior $I_C=f(V_{CE})$ con diferentes rectas de carga y tensiones de alimentación.

TECNICAS DE REGULACION DE CORRIENTE, TENSION Y FRECUENCIA

En las aplicaciones a la Electrónica Industrial, los circuitos de regulación de corriente, de tensión y de frecuencia, son los más frecuentes y a la vez importantes.

Se va a tratar a continuación el problema de la regulación de corriente a través de un ejemplo sencillo, de fácil comprensión, pero a la vez ilustrativo de dicho fenómeno.

Supóngase un sistema con una carga por la que se desea hacer circular una intensidad que es el parámetro o variable a regular.

Como es sabido, cuando la corriente de base de un transistor se mantiene constante, la curva característica tensión/corriente del colector es casi horizontal, de forma que las posibles variaciones de la carga no modifican tal corriente de colector. A su vez una variación de la tensión de colector no influye en la corriente de colector (figura 10).

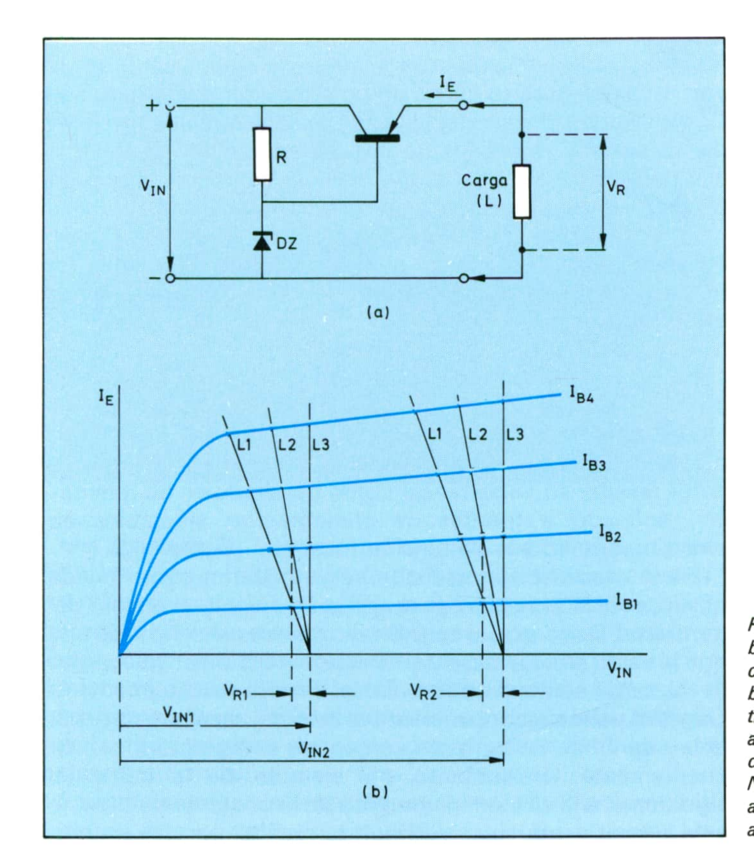


Figura 11. a) Esquema básico de un regulador de corriente;
b) Curva característica del transistor del esquema anterior $I_E = f(V_{IN})$ con diferentes rectas de carga. Nótese que V_{IN} se refiere a la tensión de alimentación de entrada.

Mediante este elemento de regulación, se puede ajustar en cada caso la intensidad que circule por la carga que se desee, ya que el diodo zener del circuito mantiene fija la tensión entre los bornes del elemento ajustable de corriente (P_1). El otro elemento ajustable (P_2), como puede apreciarse, traslada al emisor del transistor una parte de la tensión variable de entrada, y de hecho es el responsable de la corrección de error producido por variaciones en la entrada. Este simple dispositivo puede proporcionar un factor de regulación muy elevado y gran estabilidad, escogiendo adecuadamente los valores de los componentes y los tipos de dispositivos semiconductores utilizados.

Las aplicaciones de los circuitos de regulación de corriente son muy frecuentes en regulación de velocidad de motores, salidas estabilizadas de intensidad ajustable para fuentes de alimentación, alimentación de diodos para uso de sus características térmicas como sonda termométrica, etc. Como puede comprender el lector, las aplicaciones posibles de un sistema regulador de intensidad son tan variadas e ilimitadas, hoy por hoy, como las necesidades que puedan presentarse de disponer de un determinado sistema.

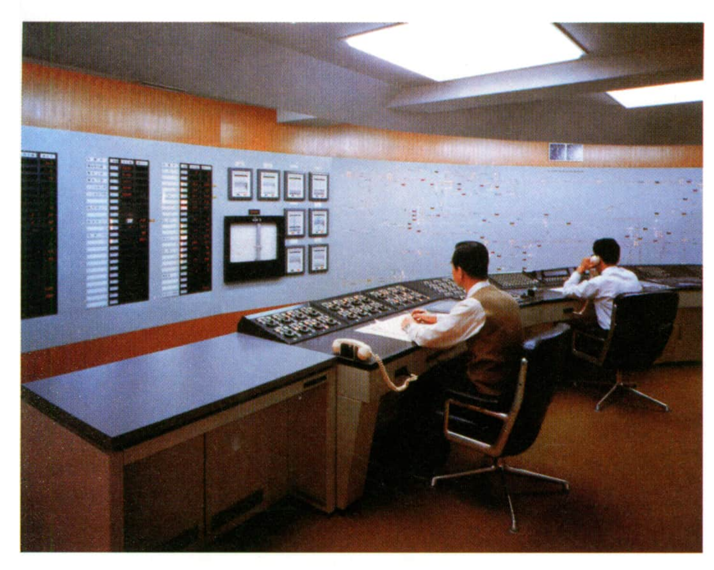
En la práctica, existen dispositivos integrados para efectuar tales funciones, si bien es más frecuente la utilización de reguladores de tensión como elemento estabilizador del transistor o como elemento de salida responsable de la regulación de corriente.

En el caso de los reguladores de tensión la importancia práctica es mayor que en los reguladores de corriente.

Va a ilustrarse esta técnica, con un ejemplo sencillo y didáctico, accesible a los iniciados en Electrónica, no sin antes resaltar su importancia como generadores de referencia, aplicado a fuentes de alimentación ajustables en tensión, reguladores de tensión fijos, etc. (figura 11).

En el caso del ejemplo que se va a tratar, como puede observarse, la conexión de la carga se efectúa al emisor del transistor. Dado que la tensión de zener es mucho más alta que la caída entre la base y el emisor, la tensión en los bornes de la carga será constante. Si se disminuye o aumenta la carga, al permanecer constante la tensión, resultará que, por la ley de Ohm, la corriente aumentará o disminuirá consecuentemente. Un aumento, por ejemplo, de tal corriente, significará, a la vez, un incremento de la corriente de base, lo cual va a producir un desplazamiento por las curvas

características. Conviene observar sin embargo, por las mismas curvas características referidas en la figura, que distintas tensiones de alimentación producen alteraciones de la tensión de salida. Hay que señalar también en este punto la importancia de que la resistencia interna, resultante del regulador, sea lo menor posible, ya que cualquier variación de la carga, produce grandes variaciones de la corriente con las consiguientes caídas de tensión en la resistencia interna. A este tipo de regulador tan simple se le denomina *con regulación en un punto.*



Las grandes instalaciones industriales, como centrales eléctricas, centros de control de ferrocarriles, etc., requieren amplios cuadros capaces de reflejar a simple vista la actuación en los diferentes puntos donde se establecen los controles de funcionamiento. En inglés se denominan salas «dispatching».

Los sistemas de circuitos *con regulación en dos puntos* permiten regular la salida tanto para posibles variaciones de la tensión de entrada como de la carga. No se entrará aquí en un mayor detalle de estos sistemas, pues son bastante complejos y fuera del alcance de esta obra. La existencia en el mercado de circuitos integrados de bajo precio y elevadas prestaciones, hace innecesaria otra consideración distinta que la de comparar un regulador a una caja negra de aplicación.

En cuanto a los sistemas de regulación de frecuencia, a pesar de que se aplican principalmente a los sistemas de

telecomunicación, es importante exponer sus principios someramente para comprender su funcionamiento y las posibles aplicaciones al mando a distancia o telemando industrial, telemetría etc. Tales sistemas funcionan de forma que el llamado discriminador, o circuito captador de frecuencia, no da señal alguna en sintonía. Si el valor de tal frecuencia varía, por modificaciones del emisor o del oscilador local, la etapa de reactancia del sistema se encarga de restablecer el valor correcto de frecuencia de trabajo del oscilador local, con lo que desaparece la tensión de corrección que se aplicó y se restablece la sintonía correctamente. Se trata de un procedimiento de circuito cerrado que persigue la equiparación entre los valores nominales y reales de frecuencia.

Sería interesante describir brevemente cómo se lleva a cabo, con un sencillo circuito, el método de corrección de frecuencia. Si una determinada tensión aplicada entre masa y la resistencia de entrada de la figura es la responsable de una determinada capacidad del diodo varicap, función de la tensión $C=f(V)$, bastará conseguir una tensión de corrección de signo y magnitud tal que restablezca la oscilación natural (C_0), (figura 13).

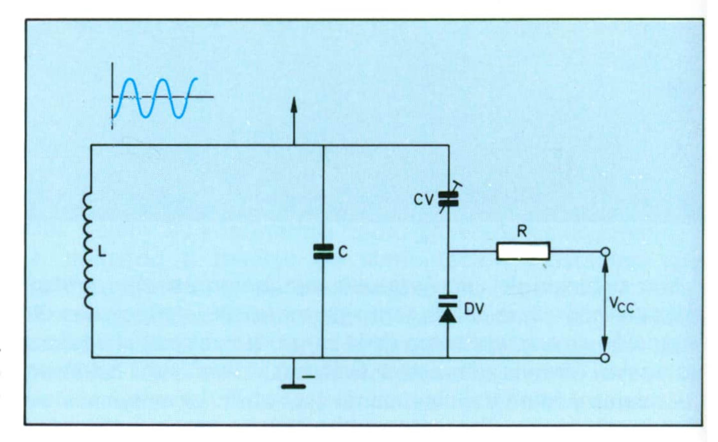
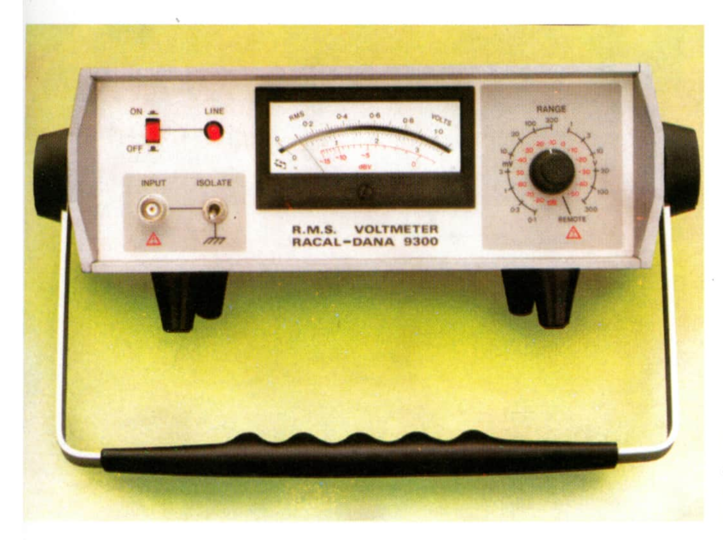


Figura 13. Célula de ajuste de circuito de control automático de frecuencia (AFC). Los elementos claves son un condensador variable y un diodo varicap.

APARATOS ELECTRONICOS DE METROLOGIA INDUSTRIAL

Este apartado trata de ser una relación de aparatos

electrónicos usados habitualmente en la industria. Evidentemente como se ha visto y se irá viendo a lo largo de éste y los dos próximos libros, las funciones fundamentales de las aplicaciones industriales de la Electrónica son el control y la regulación de procesos, por un lado, y la metrología industrial por otro. Prácticamente, cualquier otra función electrónica aplicada al terreno de la industria es una combinación de estas tres grandes familias de sistemas. Se ha tratado en el apartado anterior de las técnicas de control y regulación y en los que siguen se desarrollará la metrología con aparatos electrónicos.



Voltímetro de sobremesa, medidor de valores eficaces. (Cortesía: Racal-Dana).

Los aparatos más usados en metrología electrónica algunos de los cuales se estudian con más detalle son:

Multímetros analógicos y digitales. Encargados de la medición de magnitudes eléctricas *I, V,* (en c.a. y c.c.) *R, C,* (excepcionalmente), *W*, y cosφ.

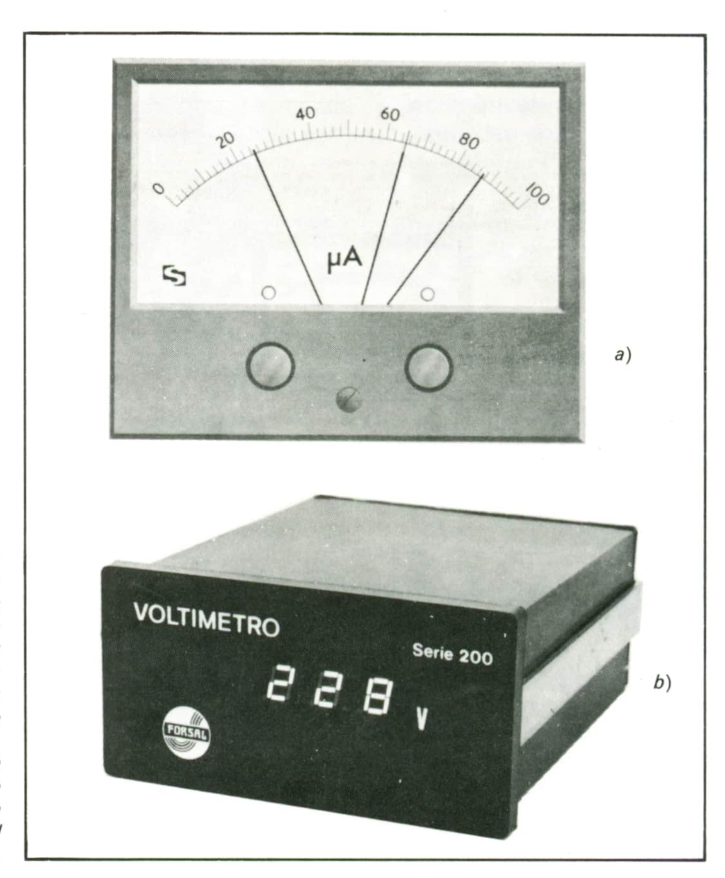
Calibradores. Elementos de precisión con referencias patrón.

Medidores de aislamiento. Destinados a la medida de aislamiento eléctrico.

Medidores de toma de tierra. Preparados para medir la eficacia de las tomas de tierra de maquinaria e instalaciones.

Registradores gráficos. Responsables de registrar sobre un soporte (habitualmente papel milimetrado) las magnitudes medidas.

Termómetros y pirómetros. Encargados de la medida de la temperatura, bien sea de cuerpos sólidos, de fluidos líquidos o gaseosos.



a) Microamperímetro analógico con escala de 90° y relés galvanométricos de máxima y mínima; b) Voltímetro digital con indicador digital de LED en estructura de siete segmentos por dígito. Obsérvese la facilidad en la lectura del aparato analógico frente a la mayor precisión del aparato digital.

Tacómetros. Previstos para la metrología de la velocidad de rotación de sistemas, máquinas, etc.

Luxómetros. Pensados para medir la luminosidad ambiental o local.

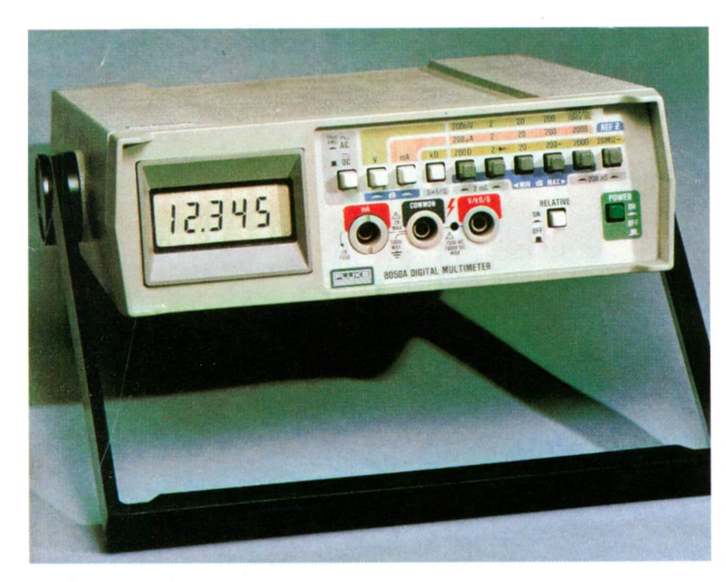
Estroboscopios. Encargados de la metrología de la velocidad o frecuencia de cualquier proceso cíclico, de manera indirecta.

Medidores de espesor de materiales y recubrimientos. Pueden ser, ferromagnéticos o no.

Sonómetros. Preparados para la medida de ruido ambiente y niveles sonoros.

Humidómetros. Responsables de la medida de la humedad, bien sea en el ambiente, bien en el seno de materiales.

Básculas. Encargadas de realizar el pesaje de materiales.



Moderno multímetro digital preparado para lecturas de tensiones continuas y alternas, valores resistivos y niveles en dB. (Cortesía: Fluke).

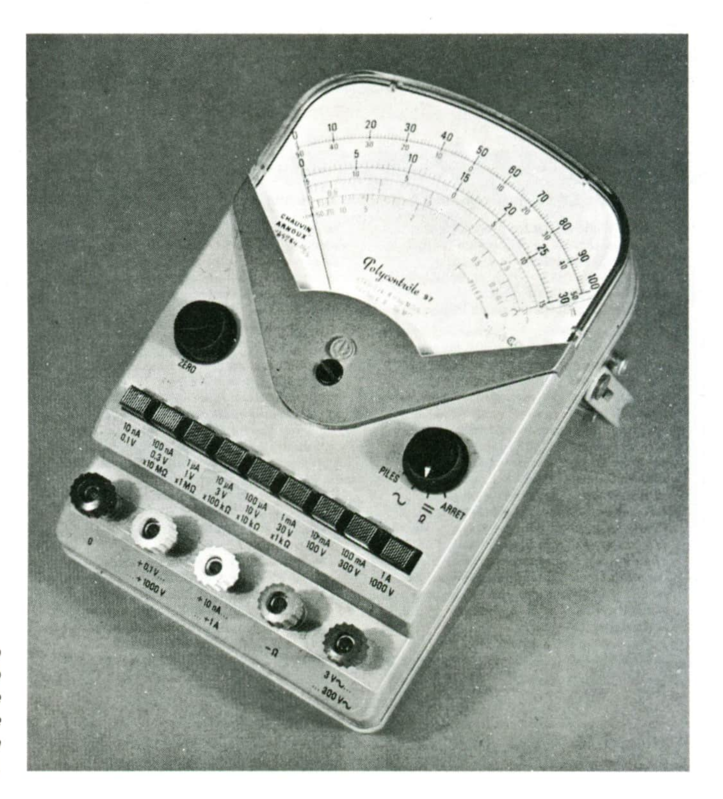
Probablemente el lector conozca otras familias de instrumental electrónico para usos industriales, pues actualmente la Electrónica ha invadido diversos campos de la metrología industrial.

Multímetros

Los multímetros son aparatos que se utilizan para la medida de magnitudes eléctricas, principalmente corrientes y tensiones, aunque su nombre genérico pueda indicar un

uso más general (resistencias, capacidades, decibelios).

No se va a limitar este libro a describir los principios de funcionamiento de estos aparatos, debido a que para un técnico de metrología industrial, para un principiante o un simple interesado, estos equipos le conciernen principalmente desde el punto de vista de usuario.



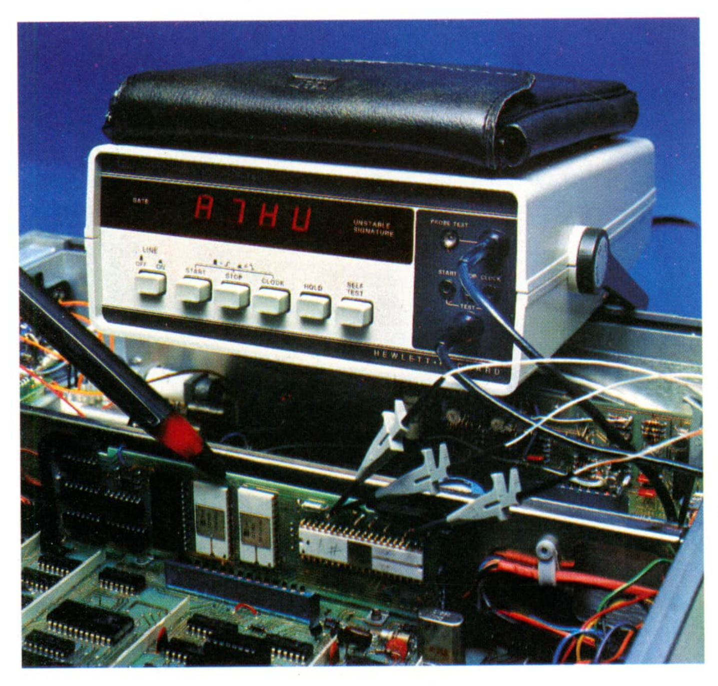
Polímetro analógico portátil para uso industrial. La selección de las diferentes escalas se efectúa mediante una botonera.

En esta gama de productos se pueden encontrar los de tipo portátil, muy adecuados para técnicos de mantenimiento; los de sobremesa, especialmente especificados para laboratorio o talleres de reparación y, por fin, los de panel, consola o mamparo, prescritos para su instalación en cuadros de mando de maquinaria, paneles de distribución, tableros de control, etc.

Otra división elemental de esta clase de aparatos, válida prácticamente para todo tipo de instrumento de metrología industrial es la de *analógicos* y *digitales.*

Los multímetros analógicos representan la magnitud medida sobre una escala graduada, en la que una aguja señala su valor. Los multímetros digitales indican la magnitud de forma numérica y, si bien suponen una enorme ventaja desde el punto de vista de precisión y claridad de la lectura, presentan el inconveniente de que una simple ojeada no da la valoración orientativa que ofrece una aguja moviéndose sobre una escala graduada.

Se dan a continuación referencias de las magnitudes que pueden medirse con los multímetros de uso industrial.



La compleja circuitería electrónica que incluye circuitos integrados memorias y microprocesadores en gran número, exige mediciones exactas. Con este sofisticado instrumento se pueden localizar fácil y rápidamente las averías, que de otra forma sería prácticamente imposible hacerlo. (Cortesía: Hewlett Packard).

Para multímetros analógicos

Intensidad: gamas más frecuentes, de 1 mA a 10 en c.c.
Caídas internas de tensión: 0,1 a 0,6 V en c.c.

Tensión: gamas más frecuentes, de 0,1 V a 1 kV en c.c. Resistencia interna de 10.000 Ω/V

Intensidad y tensión para c.a., gamas similares a los de c.c.

Frecuencias de las corrientes alternas medibles, entre 50 Hz y 5 kHz y hasta 100 kHz en equipos un tanto especiales.

Resistencia: gamas más frecuentes de 1 Ω hasta 2 MΩ.

Aislamiento general: entre 1.000 V y 5.000 V.

La figura 19*b* muestra varios multímetros con amplias prestaciones.

Para multímetros digitales

Intensidad: gamas más frecuentes, de 100 nA a 10A en c.c.

Tensión en c.a.: de 1 mV a 1.500 V.

Precisión multímetros digitales entre 0,05 % y 1 % (frente a los 2 a 5 % de los analógicos).

Después de la lectura detallada de este apartado, se habrá adquirido una idea bastante clara de las prestaciones de este tipo de equipos cuyas características de robustez, autonomía y precio son muy semejantes entre sí para los tipos analógico y digital expuestos.

Puentes de medida

Los dispositivos denominados *puentes de medida* tienen como principal misión la medida de los valores óhmicos, capacitivos o inductivos, de componentes electrónicos o sus valores equivalentes (impedancias) para sistemas o circuitos más complejos.

Están basados en estructuras equilibradas de alta sensibilidad y precisión, bien conocidas por el lector, como puentes de Wheatstone-Kolhrausch, puentes de Wien, puentes de Thomson, puentes de Maxwell-Sauti, etc.

Se analizan a continuación algunas de las características más importantes de estos sistemas.

Puentes de medida de resistencias

Estos sistemas están basados principalmente en los puentes de Wheatstone, de Kolhrausch y Thomson.

La gama de medidas oscila entre 100 $\mu\Omega$ y 10 MΩ, según el tipo de puente y escala utilizada:

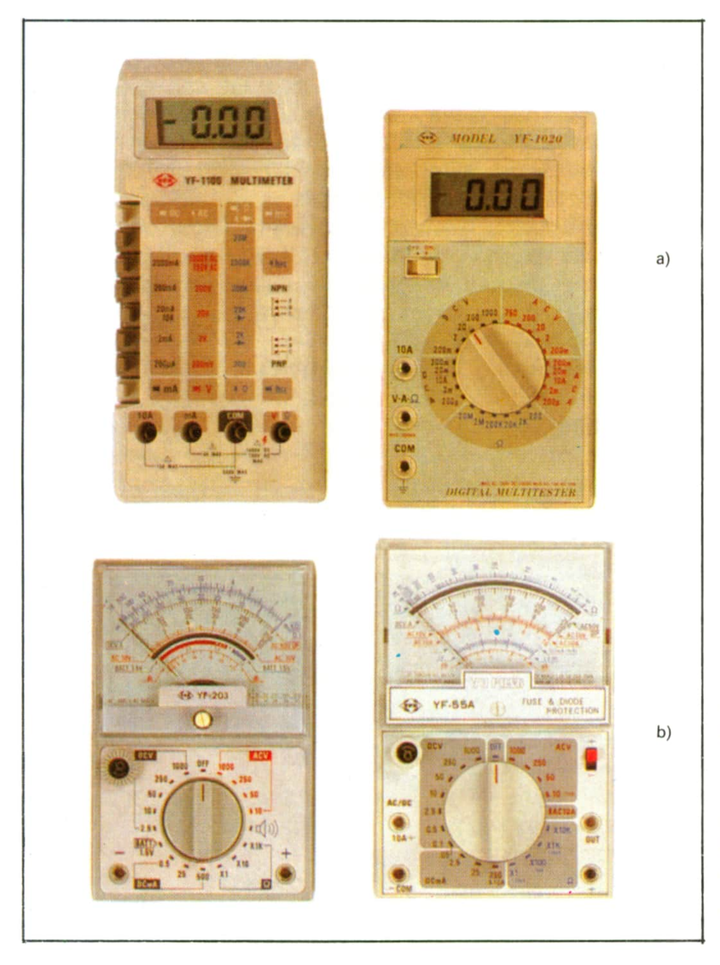


Figura 19. Cuatro diferentes modelos de polímetros de bajo coste. En la parte superior pueden verse dos modelos digitales con teclado o conmutador para seleccionar las escalas, mientras que en parte inferior se representan dos modelos de tipo analógico.

— Mediante puente de Wheatstone: 0,05 Ω a 10 MΩ.
— Mediante puente de Kohlrausch: 0,05 Ω a 1 mΩ.
— Mediante puente de Thomson: 100 μΩ a 10 Ω.

Para estos tipos de puentes la precisión oscila entre el 0,02 % y el 1,5 % de la escala correspondiente.

Puentes de medida de inductancias y capacidades

Estos sistemas están basados habitualmente en los

puentes de Maxwell, Sauty (o de Nerst) y de Hay.

Normalmente se utilizan los puentes de Maxwell o Hay para inductancias y los de Sauty para las capacidades. La gama de medidas oscila entre 2 μH y 200 H para inductancias, y entre 2 pF y 5.000 μF para capacidades.

Como el lector sabe, estas medidas de inductancia y capacidad no son suficientes para la especificación completa de las características del componente, puesto que estos sistemas de puente permiten también la medida de la tangente del ángulo de pérdidas para los condensadores (entre 0,001 y 10) y del factor de calidad de las inductancias (entre 0,1 y 100).

Prácticamente no tiene sentido hablar en estos casos de instrumentos digitales, salvo para aplicaciones muy concretas, ya que en el proceso de medida hay etapas de precalibración en las que es conveniente seguir la evolución de la magnitud que se mide, lo cual es bastante más complicado de efectuar sobre una escala numérica que sobre una analógica, en la que una aguja se mueve a derecha e izquierda.

Hay que recordar de nuevo al lector que las gamas de medida, precisión, etc., se refieren a aparatos para uso industrial.

Es obvio que para aplicaciones de laboratorio muy especializadas, los valores expuestos no se corresponderán por quedar estos usos fuera de aquellos que se pretenden resaltar en estas páginas.

Habitualmente los puentes de medida son utilizados en la industria por técnicos de mantenimiento cualificados, de forma que puedan determinar si las características de un componente supuestamente averiado son o no conformes. Es prácticamente imprescindible para las áreas de mantenimiento de industrias donde hay sistemas de control o de medida sofisticados y de precisión, o donde la deriva de la característica de un componente puede dar lugar a que el proceso concreto que se pretenda regular, esté fuera de control, como puede suceder por ejemplo en industrias químicas, alimenticias, papeleras, etc.

Pinzas de medida de I y V

Debido a que con estos aparatos se pueden efectuar

medidas de corrientes elevadas sin desconexión de los equipos, las pinzas amperimétricas son muy utilizadas en la industria.

La pinza, o elemento sensor, es en este tipo de instrumentos, la clave de la precisión y de la capacidad de medida.

Existen, en este sentido, dos tipos de pinzas, las de bobinado repartido y las de bobinado localizado. Las cualidades de un tipo u otro son distintas en cada una de las

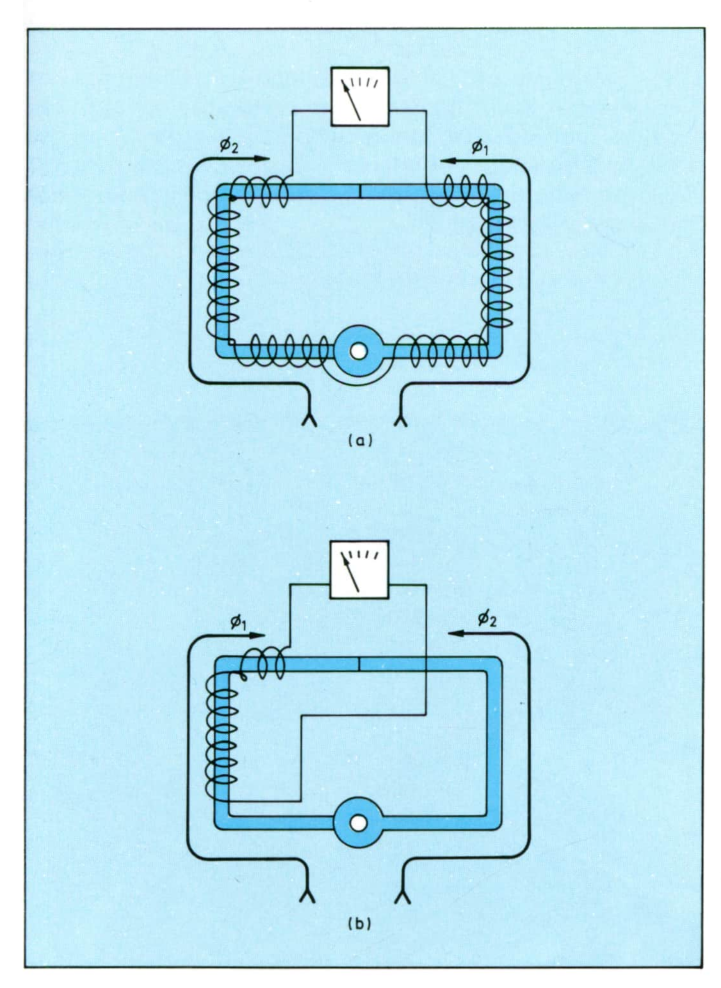


Figura 20. a) Pinza galvanométrica de bobinado completo; y b) de bobinado repartido.

aplicaciones que se deseen, según existan o no influencias de campos magnéticos exteriores, de otros conductores, etc. (figura 20).

Habitualmente estos equipos poseen accesorios que facilitan la aplicación de la pinza en accesos difíciles. En cuanto a las gamas de medida, con los accesorios correspondientes, van desde 1 hasta 300A, para las corrientes y de 100 a 500 V en cuanto a tensiones.

Los posibles errores de medida van desde 2 hasta 5 % en bobinados repartidos, y mucho mayores en las de bobinado localizado.

Son aparatos especialmente adecuados para manipular en secciones distribuidoras de energía, donde debe operarse en acciones preventivas y/o correctivas sin desconexión de los equipos. Otro factor importante a señalar en estos aparatos es la robustez de las pinzas y la del propio instrumento adosado a ella (figura 21).

Medidores del factor de potencia

El factor de potencia es el elemento responsable de las

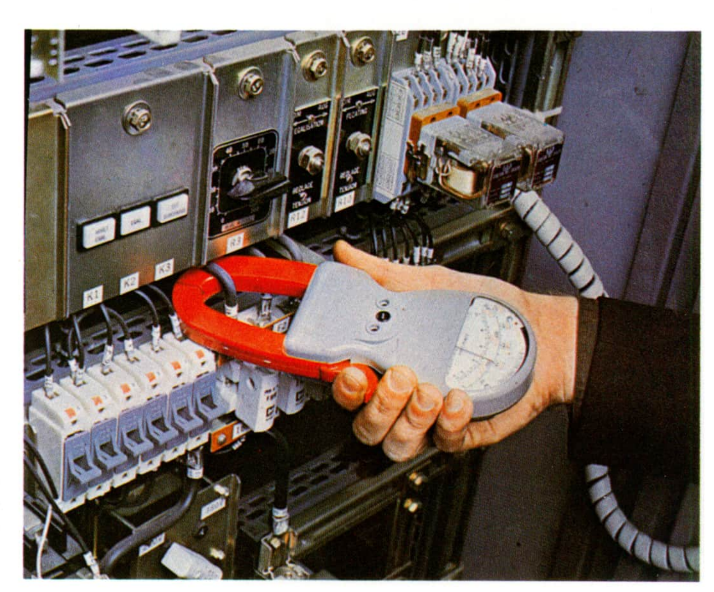


Figura 21. Un amperímetro de pinza permite la medida de intensidades sin tener que desconectar el sistema. La simplicidad de la medida es evidente, como puede observarse en la medición efectuada en un cuadro eléctrico de distribución.

posibles pérdidas en el transporte de energía eléctrica y en el consumo de electricidad en las instalaciones industriales.

Muchas de las causas que contribuyen a que el factor de potencia esté desequilibrado son de instalación, esto es motores que funcionan en vacío, transformadores sobredimensionados innecesariamente, tensiones demasiado elevadas, iluminación con fluorescentes mal compensados, etc.

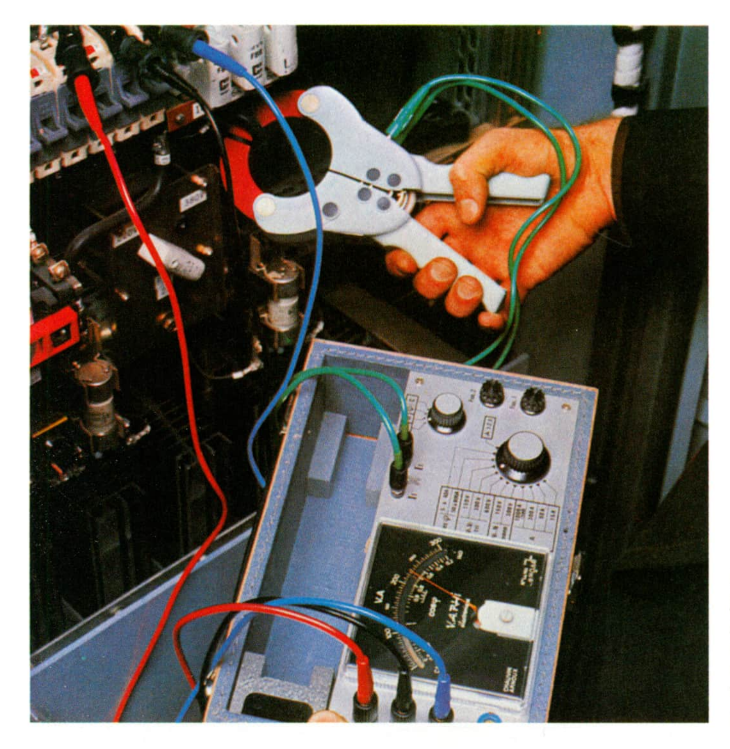


Figura 22. Medidor portátil del factor de potencia con pinza. Resulta muy útil en la localización de averías en instalaciones que trabajan con tensiones elevadas.

Esta disminución del factor de potencia entraña una circulación anormal de energía reactiva, produciendo consumos energéticos innecesarios en forma de calor en los conductores, arrollamientos, etc.; por todo ello, es muy importante poder efectuar la medida del factor de potencia a fin de determinar los valores de los condensadores de compensación a aplicar en cada receptor de energía

(máquina), en cada derivación y, en general, en cada origen de instalación eléctrica.

Los equipos medidores del factor de potencia son a la vez voltímetro y amperímetro, de forma que el conocimiento de estos tres parámetros, I, V, y $\cos\varphi$, permite el cálculo de la potencia activa y reactiva, en sistemas monofásicos y trifásicos. (Recuérdese la expresión $P = V \cdot I \cdot \cos\varphi$). Estos equipos deben funcionar tanto a 50 como a 60 Hz, pues estas son las dos frecuencias normales de la tensión que las redes de suministro proporcionan en todo el mundo.



Medida de toma de tierra a través de piquetas en hormigón. Al tema de toma de tierra no suele dársele la importancia que en realidad tiene.

Para permitir el acceso a muy altas intensidades, estos aparatos incorporan generalmente una pinza transformadora con relación 1000/1 (figura 22).

El resumen de las características de estos equipos es el

siguiente: voltímetro entre 150 y 600 V, con resistencias internas del orden de 1.000 Ω/V; amperímetro entre 1 y 1.000 A; fasímetro entre 0,2 inductivos y 0,8 capacitivos, para señales monofásicas o trifásicas equilibradas, (entre 600 V y 600 A) y precisión entre el 1 y el 5 %.

En este tipo de aparatos las características de robustez del tipo señalado en el apartado anterior, deben ser, si cabe, más rigurosas y es muy frecuente que, debido a esto, la pinza se presente separada del instrumento de medida.

Megóhmetros y medidores de rigidez dieléctrica

La verificación de los aislamientos en las instalaciones eléctricas forma parte de las medidas fundamentales de seguridad que deben establecerse en las industrias.

En cada país existen Normas de Seguridad que deben ser contempladas en las instalaciones, pues la integridad física del hombre está en juego, aparte de las averías en las máquinas que ello puede entrañar, con los subsiguientes paros y pérdidas de productividad.

Como datos estadísticos se señala que el 25 % de los accidentes laborales que se producen en industrias, donde la maquinaria funciona con energía eléctrica, son causados por defectos de aislamiento y aproximadamente el 5 % de ellos son mortales.

Las Normas de Seguridad obligan habitualmente a controlar los aislamientos de los conductores activos, de los conductores de tierra, etc, que deben proporcionar al menos un aislamento de 500 V. El industrial también queda obligado a verificar con periodicidad anual la bondad de sus instalaciones.

Independientemente de la medida de la rigidez dieléctrica o del aislamento de las instalaciones, tiene fundamental interés la medida de aislamientos muy elevados para productos especializados, a saber, circuitos impresos, aislantes, cables de transporte de energía o telefónicos, etc., donde las gamas de medida son distintas de las citadas antes. Se va a dividir la gama de estos aparatos en varias familias, óhmetros de red, megóhmetros (para circuitos resistivos y capacitivos), gigóhmetros, medidores de corriente de fuga, medidores localizadores de defectos y cortes de circuitos eléctricos y dielectrómetros de toma de tierra.

Las gamas de medida para los diferentes tipos de aparatos suelen ser:

Ohmetros de red. Para aislamientos, entre 0,1 MΩ y 100 MΩ, para 500 V; para medir resistencias, 100 Ω a 1 MΩ, para 5 V; para medir continuidad 0,5 Ω a 1 kΩ entre 0,1 y 0,3 V.

Megóhmetros. Para aislamientos de 1 kΩ a 2.500 MΩ, para 500 V (hasta 10.000 MΩ para 2.500 V); para medir continuidad, de 50 MΩ a 20 Ω aplicables a tensiones alternas entre 0 y 2.500 V.

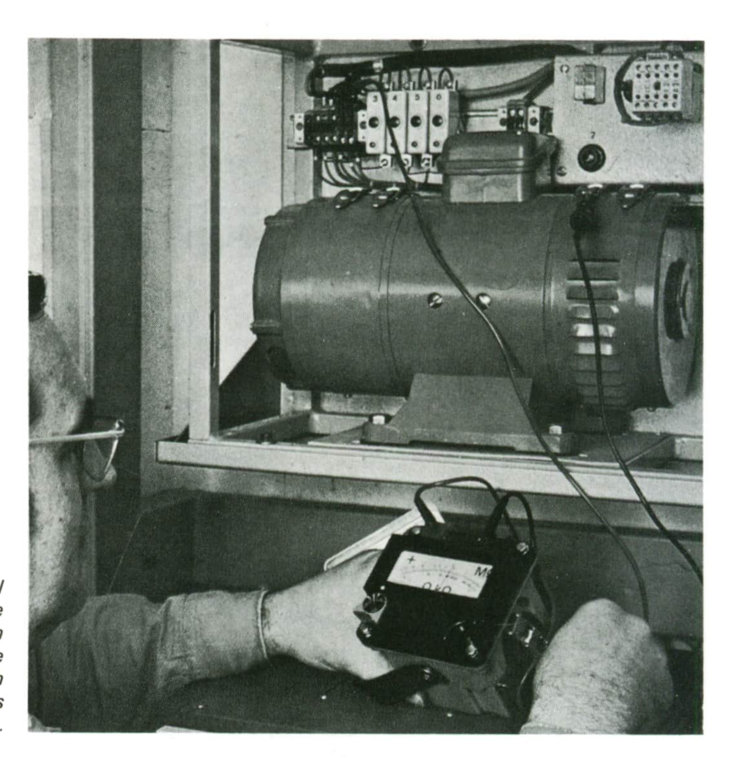


Figura 24. Medida del aislamiento eléctrico entre dos puntos mediante un megóhmetro. Con este instrumento se pueden medir valores óhmicos muy elevados.

Gigóhmetros. Para aislamientos de 0,03 MΩ a 100 GΩ, para 50 V (hasta 1.000 GΩ para 500 V).

Para medidores de corriente de fugas. Desde 10 mA a 10 A.



Termómetro digital capaz de efectuar medidas de temperatura en grados centígrados y Farenheit. Es de tipo portátil y puede alimentarse con una fuente de alimentación auxiliar (pilas y/o baterías).

Medidores de localización de defectos y cortes de circuitos eléctricos. Entre 1 MΩ y 10 kΩ.

Dielectrómetros. Tensión proporcionable, entre 0 V y 5 kV; intensidad controlable, entre 50 μA y 200 mA.

Teluróhmetros. De 0 a 500 Ω.

Todos estos aparatos suelen ser analógicos para facilitar las lecturas. Al ser variables, con alternancia de máximos y subsiguientes descensos, las mediciones serían difíciles de seguir en un indicador numérico. La precisión de estos equipos suele estar entre 0,5 y 5 %.

Calibradores

Los calibradores son aparatos destinados al tarado y control de los aparatos de medida (nos referimos siempre y únicamente a calibradores para usos industriales).

En general son generadores de tensiones y corrientes, continuas y alternas, con diferentes sincronismos posibles respecto a la tensión de red.

Los calibradores están normalmente equipados con dos tipos de selectores, continuos y fijos o escalados. Los selectores continuos permiten, a través de uno o varios mandos, fijar la señal que se desea aplicar para proceder al calibrado que se pretende, de forma que puede alcanzarse cualquier valor entre el mínimo o cero y el máximo de la escala. Habitualmente equipan un mando de ajuste basto y uno de ajuste fino de alta sensibilidad, con el fin de ajustar la magnitud a suministrar por el calibrador en el punto deseado. Los selectores fijos o escalados se accionan a través de pulsadores, de forma que las magnitudes fijas a suministrar están taradas interiormente en el equipo o preseleccionadas en laboratorios especializados. Los selectores de pulsador son menos versátiles, pero proporcionan en cambio mayor precisión de la que suele obtenerse con un ajuste manual por cuidadoso que éste sea.

La característica más deseable de un calibrador, aparte de la estabilidad de una magnitud una vez se ha ajustado, es la resolución, esto es, la capacidad de separar significativamente distintos niveles o márgenes de calibración más adecuados.

Un ejemplo enriquecerá este concepto. Si se imagina que para dividir la tensión proporcionada por un regulador se usa un potenciómetro de una sola pista de película de carbón, que, como se sabe, posee una superficie muy rugosa, será muy difícil, por no decir imposible, obtener una salida suavemente continua, pues los saltos producidos por la propia tecnología del potenciómetro harán que pasen desapercibidos muchos valores intermedios entre dos valores sucesivos. Si por el contrario, para la misma división de tensión se usa un potenciómetro del mismo valor eléctrico, pero de plástico conductivo, por ejemplo, y multivuelta, es evidente que entre dos valores sensibles cualesquiera se encontrarán muchísimos intermedios que ha sido posible distinguir a partir de la tecnología de dicho

potenciómetro. Se dirá que este segundo tipo de dispositivo tiene una mayor resolución.

Para los calibradores de tara y ajuste de instrumentos electrónicos de aplicación industrial, será suficiente que dispongan, en general, de las siguientes características:

a) Dominio de tensiones: 1 mV a 1.500 V (resolución de 1 μV).

b) Dominio de corrientes: 1 μA a 10 A (resolución 1 nA).

c) Cargas resistivas: 01, Ω a 10 MΩ (con resistencias del 0,2 % y mando continuo).

d) Precisión entre el 0,05 %, y el 0,2 % en cada magnitud.

Control de un proceso industrial complejo, mediante computador. A partir de diversas medidas obtenidas en las líneas de producción, el computador calcula los datos necesarios y da información permanente al operador, permitiendo un control continuo. (Cortesía: Philips).



Termómetros y pirómetros

La medida y el control de la temperatura en la industria es tan importante que la proliferación de aparatos especializa-

dos para realizar estas funciones queda ampliamente justificada.

Este apartado se va a referir de forma principal a los termómetros a termopar (de par termoeléctrico) pasando también revista, aunque sea ligeramente, a otras técnicas de medida de la temperatura.

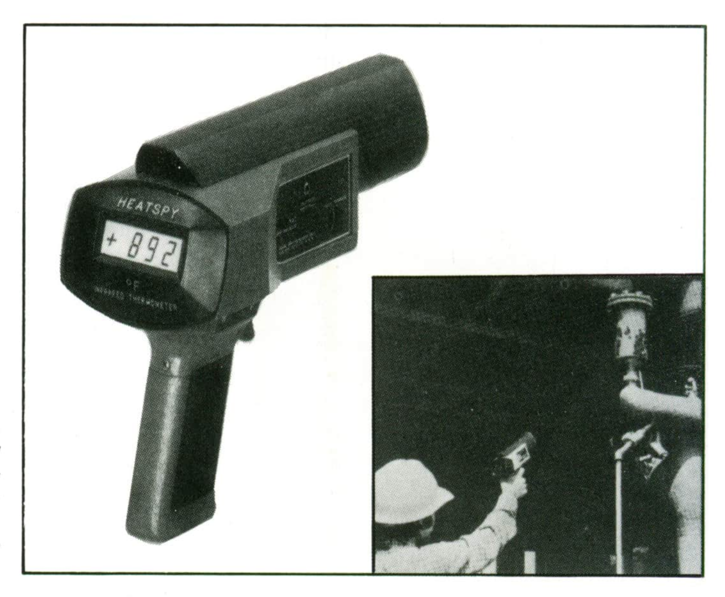


Figura 27. Termómetro óptico sin contacto, con display o visualizador de cristal líquido de bajo consumo. Basta «apuntar» con la cabeza sensible del aparato al foco de calor para conseguir una medida altamente precisa. Se basa en la medición de los rayos infrarrojos.

Los termómetros a termopar permiten la medida de gamas de temperatura muy amplias, generando una señal eléctrica que puede ser leída a gran distancia y transmitida por medio de cables especializados. Un termopar está constituido por dos hilos de materiales diferentes soldados en los extremos. Al calentarse o enfriarse una de las soldaduras, llamada de medida, se genera una *fuerza electromotriz* (f.e.m.) y en el bucle entre ambas, circula una corriente. Esta fuerza electromotriz es función de la diferencia de temperatura entre las soldaduras (una de ellas fija), por lo que este tipo de medida se llama *diferencial*. Un miliamperímetro es el encargado de medir la corriente que circula por el bucle.

La unión de referencia, mal llamada soldadura fría, se lleva a los bornes del aparato de medida mediante cables de compensación.

Las leyes de variación de los termopares, que difieren generalmente de una variación lineal, no guardan una relación simple de proporcionalidad entre la temperatura y la f.e.m. generada, por lo que debe ser compensada de forma adecuada en los instrumentos de medida.

Un aspecto de capital importancia de los termopares es el de que los cables de compensación no deben aportar f.e.m. parásita al instrumento lector de temperatura, por lo que dichos cables serán de la misma naturaleza que los materiales de la soldadura.



Distintos tipos de sonómetros de precisión para medir niveles de ruido.
(Cortesía: Brüel & Kjaer).

Existen otras técnicas de medida de temperaturas, todas ellas distintas según el elemento sensor utilizado.

Se citan aquí, únicamente a título indicativo, las termorresistencias (termistores), que constituyen una familia de sensores apropiadas para márgenes de temperatura estrechos, más propios de laboratorios que de aplicaciones

industriales. No ocurre así con las nuevas técnicas piroópticas, de forma que permiten la medida de la temperatura a distancia sin contacto ni cables. Estas aplicaciones son especialmente convenientes para el caso de temperaturas elevadas, donde la propia estabilidad térmica de los materiales y la seguridad humana imponen criterios de medida totalmente revolucionarios. Los sistemas piroópticos funcionan por el principio de que un cuerpo caliente emite radiación (luz) en función de la temperatura de dicho cuerpo (figura 27). Los termómetros industriales pueden ser analógicos y digitales, variando las precisiones en función de los aparatos utilizados y del tipo de los sensores.



Figura 29. Luxómetro portátil analógico con distintos accesorios ópticos de concentración y dispersión de luz.

Para termómetros a termopar los márgenes frecuentes de medida están entre 0 y 1.800°C.

Para termómetros a termorresistencia los márgenes suelen hallarse entre −40 y 10°C y entre 5 y 60°C.

Con los termómetros piroópticos se pueden alcanzar medidas de temperatura hasta los 2.400°C.

Los materiales más usados para la fabricación de los termopares son:

1) Hierro/constantán.
2) Cromo/alumen.
3) Cromo/constantán.
4) Cobre/constantán.

Luxómetros

Los luxómetros son aparatos destinados a medir la iluminación ambiental o localizada, en el sentido más amplio que la palabra iluminación tiene. De hecho en el apartado anterior, donde se ha hablado de pirómetros ópticos nos referíamos a un tipo especial de luxómetro. Como en el caso de la medida de la temperatura, la dificultad de la medida de la iluminación se resuelve a través del *captador* o *sensor*, que es el elemento capaz de transformar en energía eléctrica la energía luminosa incidente.

En este sentido es importante también indicar que los medidores de iluminación son capaces de medir radiaciones fuera del espectro visible, esto es, infrarrojas y ultravioletas.

Los sensores más usados en los luxómetros o fotómetros son: fotodiodos, fototransistores, fotorresistencias, fototiristores, fotomultiplicadores, etc. (figura 29).

El principio de estos dispositivos es distinto según las características de cada uno de ellos, pero la relación causa-efecto es siempre la misma: la variación de sus características eléctricas en función de la energía radiante incidente, fenómeno común en mayor o menor escala a todos los dispositivos semiconductores y de vacío.

En la luxometría o fotometría conviene distinguir dos tipos de aparatos: los de uso general, que integran todas las radiaciones incidentes midiendo el valor integrado resultante y los de frecuencia pasante que diferencian, dentro del espectro luminoso radiante, solamente aquellas frecuencias cuya intensidad luminosa pretende medir. Esta segunda serie de equipos son muy especializados, principalmente para aplicaciones al campo de la colorimetría.

Para la medida de la iluminación, se utiliza una magnitud denominada *lux*.

Los aparatos de medida, según el tipo de sensor utilizado, están previstos para márgenes dentro de los cuales su mayor especialización optimiza la calidad de la medida.

Para iluminaciones muy bajas, entre 0,00001 a 0,1 lux se utilizan los fotomultiplicadores, por sus cualidades amplificadoras y de bajo ruido eléctrico.

Para iluminaciones medias-bajas, se utilizan las fotorresistencias, óptimas para funcionar entre 0,01 y 100 lux.

Para más de 50 lux, y en general hasta 5.000 lux, se usarán frecuentemente aparatos con captador a semiconductor: fotodiodos, fototransistores, etc.

Tacómetros

Los tacómetros son aparatos usados en la industria para la medida de las revoluciones o números de giros por unidad de tiempo de cualquier máquina, sistema rotativo, etc.

Es posible que el lector conozca los métodos clásicos de medida de las r.p.m. de máquinas a través de transmisiones mecánicas rígidas o por cable, con los subsiguientes problemas de carga sobre el eje motor, acodamientos, etc.

Los aparatos electrónicos que se citan a continuación, evitan estos inconvenientes, ya que realizan la medida sin contacto con el sistema rotativo, ya sea por medios electromagnéticos u ópticos (figura 30).

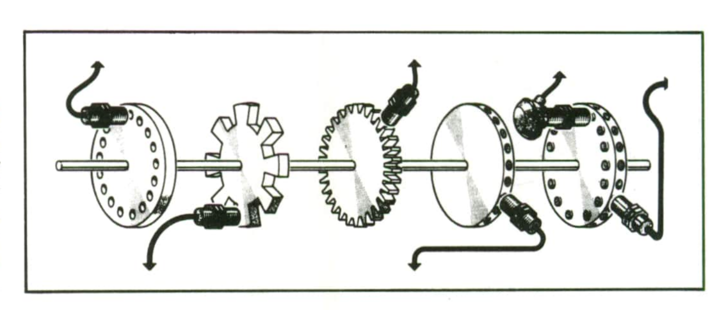


Figura 30. Distintos procedimientos electromagnéticos y ópticos para detectar el giro de un eje y poder medir con ello, mediante un tacómetro, la velocidad angular de cualquier sistema rotativo.

No obstante estos procedimientos presentan la necesidad de adaptar anteriormente el sistema rotativo, ya sea aplicando uno o varios salientes de material ferromagnético para activar el captador de impulsos inductivo, o bien con una

pequeña banda reflectante para captadores ópticos adherida o pintada en la superficie.

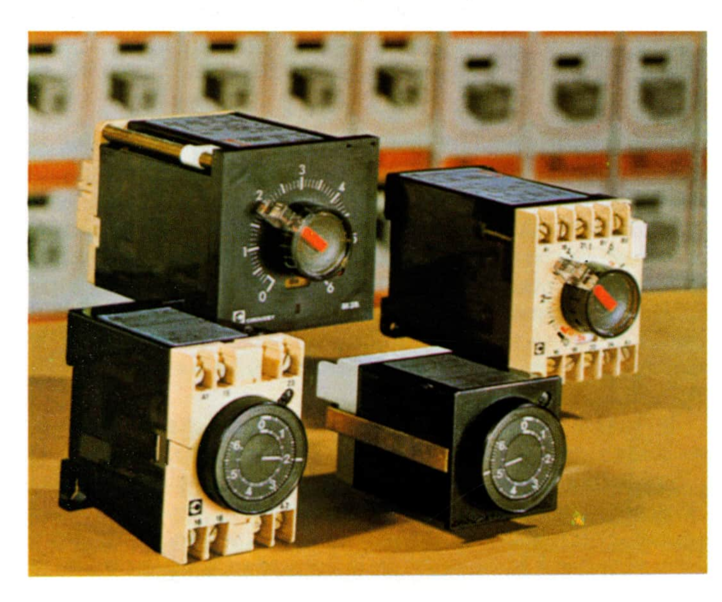
Los aparatos analógicos serán los más convenientes para uso portátil y los digitales para instalaciones fijas, pues las fluctuaciones debidas a las variaciones de posición del sensor sujeto manualmente pueden ser integradas por la inercia de la aguja de los sistemas analógicos, cosa que no ocurre con los tacómetros digitales.

Los tacómetros suelen tener distintas escalas de medida, lo cual permite utilizar el mismo aparato para muy diversas velocidades de forma que la adaptación sea interior al aparato de medida. Dado que el captador es independiente de tales variaciones y por ser de tipo eléctrico, no se satura por muy elevadas que sean las revoluciones de los sistemas que se desean medir.

Suelen ser márgenes suficientes de medida, escalas entre 10 y 1.000 r.p.m., 1.000 y 10.000 r.p.m. y, finalmente, entre 10.000 y 40.000 r.p.m., para velocidades angulares muy elevadas.

Anemómetros

Los anemómetros son aparatos que además de sus



Temporizadores analógicos electromecánicos. Sus principales características son la robustez y discreta precisión. Pueden ser montados en paneles de mando y control.

aplicaciones meteorológicas de todos conocidas, tienen también utilidad en el terreno industrial de la simulación, como en túneles anemónicos o túneles de viento, donde se estudian y simulan los comportamientos aerodinámicos de vehículos, aviones, artefactos bélicos, etc.

El principio de funcionamiento es similar, en realidad, al de un tacómetro, con la salvedad de que este aparato exije un frotamiento mínimo entre el eje que lleva las palas giratorias, que impulsadas por el aire generan la motricidad de dicho eje, y el sistema soporte, con el fin de que la carga mecánica sea mínima (figura 32).

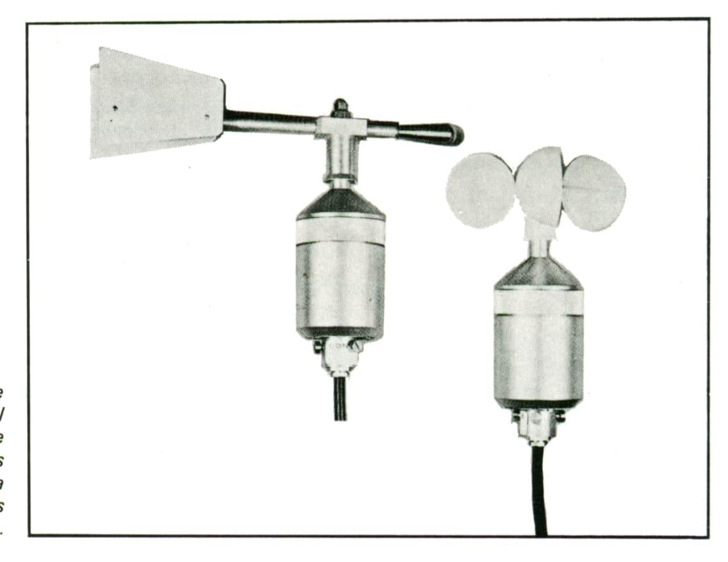


Figura 32. Anemómetro e indicador de dirección del viento. El poco peso de los materiales utilizados es la clave de la funcionalidad de estos aparatos.

Existen sistemas anemométricos que en lugar de funcionar por el principio tacométrico de impulsos, funcionan por la tensión de un generador tacométrico cuyo eje es movido por las palas giratorias.

El mismo sistema podría ser aplicado para medir la velocidad de un fluido dentro de un conducto.

Los anemómetros meteorológicos convencionales también se utilizan ampliamente en sistemas industriales de control como sistemas de maniobra de seguridad, cuando determinadas condiciones de la velocidad o de la dirección

del viento desaconsejan actividades de evacuación de humos, detritus pulverizados, productos químicos en suspensión, etc. Existen también sistemas anemométricos, medidores de la velocidad de fluidos en general, mucho más sofisticados y precisos, que funcionan por el principio de la transmisión de ondas ultrasónicas a través de las tur-



Terminal electrónico de recogida de datos. Incluye un lápiz lector de código de barras que el propio terminal es capaz de decodificar. Su utilización es cada vez más frecuente, pues los códigos de barras se incorporan a los más variados productos (comestibles envasados, publicaciones, bebidas, etc.).

bulencias que se generan al circular dicho fluido por un conducto estrecho. Existe una relación directa, dada la viscosidad de un fluído, entre el número de turbulencias y la velocidad de dicho fluido de forma que la diferente velocidad de transmisión de los ultrasonidos a través de dichas turbulencias, posibilita la medida. Estos sistemas son más usados en conducciones estrechas que en espacios abiertos o túneles.

Registradores

Los registradores son aparatos que permiten inscribir o representar gráficamente sobre una cinta o papel milimetrado, semilogarítmico, logarítmico, en pulgadas, etc. una magnitud eléctrica en sí, o bien la transformación en energía

eléctrica que un captador haya efectuado de alguna magnitud física.

Se distinguen dos grandes familias de registradores, los de acción directa y los de acción indirecta.

En los registradores de acción directa, la magnitud a registrar actúa directamente sobre el sistema de trazado; en los de acción indirecta, el sistema de trazado es accionado por un motor o cualquier otro dispositivo responsable de adaptar la magnitud a registrar, según sea el sistema de registro (figuras 34 y 35).

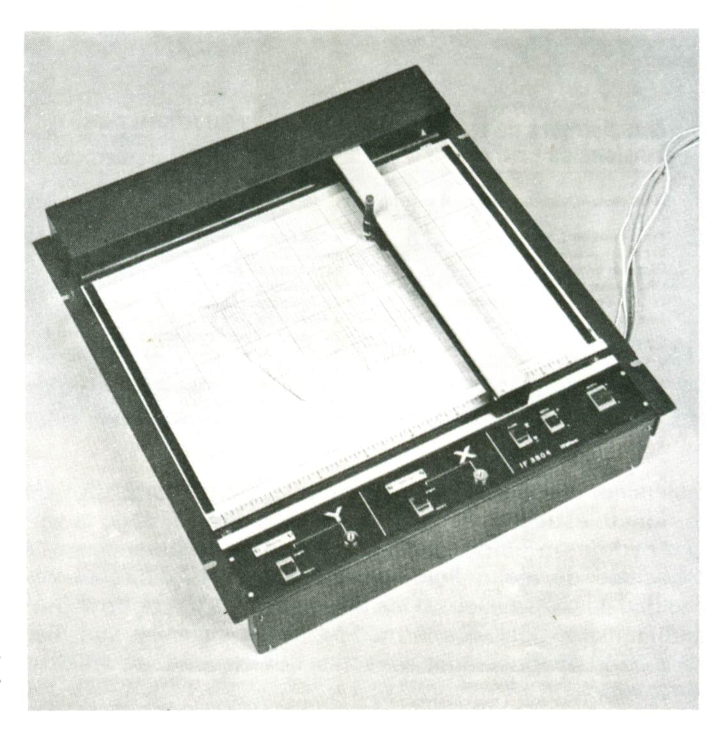


Figura 34. Registrador gráfico X – Y de sobremesa de tipo empotrable. En inglés se le denomina «plotter», y puede dibujar en varios colores.

Dentro de estos conceptos generales hay una variada gama de registradores de características, tecnologías y modo de funcionamiento muy distintos. Un registrador puede ser portátil o fijo; la lectura puede ser continuada o muestral; la magnitud a registrar puede ser $X=f(t)$, $Y=f(x)$, $Z=Y(f(x))$; el soporte del registro puede ser en banda, disco, tambor,

hoja de papel continuo, en acordeón, etc.; la inscripción puede ser por puntos, por traza continua, etc.; se puede requerir un tiempo de respuesta muy rápido o no; la precisión puede ser o no un elemento decisorio para su

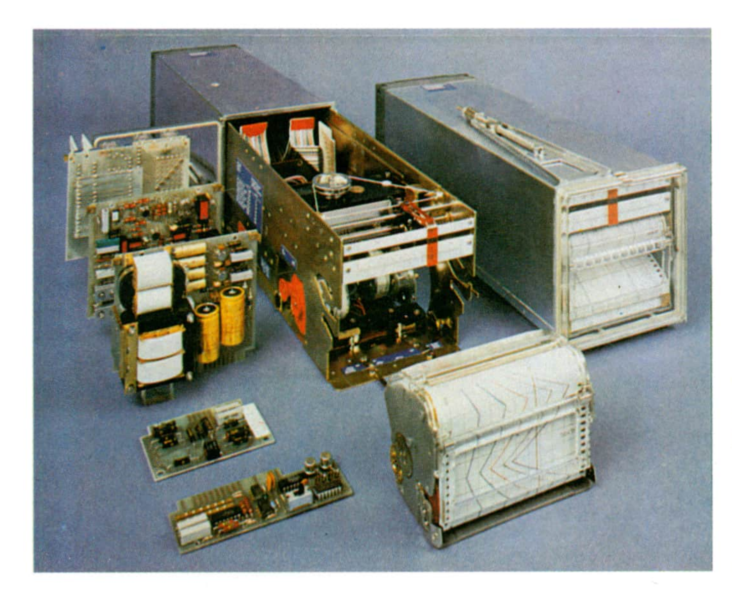


Figura 35. Registrador de gráficos tipo empotrable con sistema de impresión indirecta, en el que se puede apreciar una elevada complejidad constructiva, tanto mecánica como electrónica.

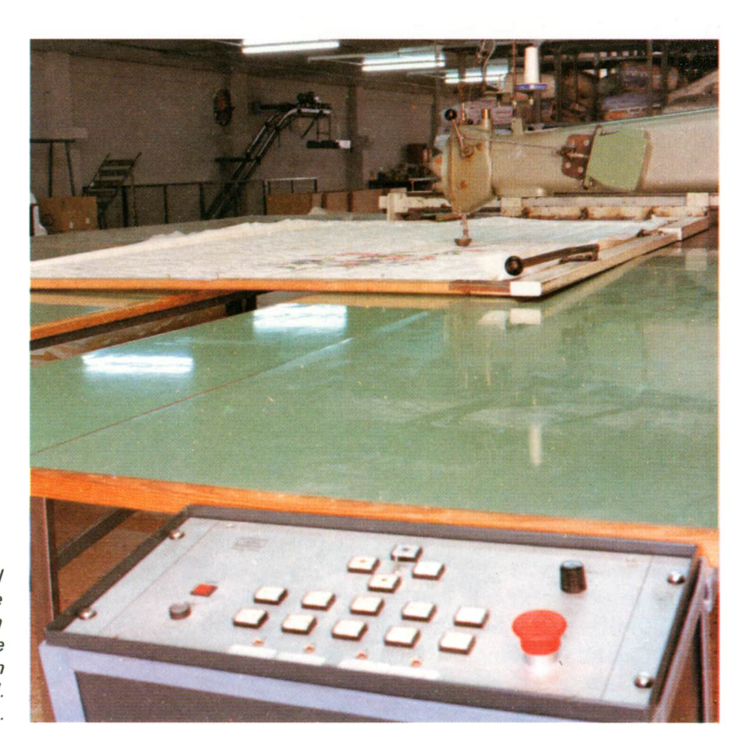
adecuación al uso; el que el registrador disponga de diferentes velocidades de avance del soporte del papel es también un factor a considerar (son velocidades frecuentes 15, 30, 60, 120 y 600 mm. por minuto), (figura 34). Como características frecuentes de los registradores se pueden señalar, en el terreno de las aplicaciones industriales, las siguientes: Precisión, entre 0,1 y 5 %; Fidelidad, entre 0,2 y 2 %; Linealidad, entre 0,1 y 3 %; Tiempo de respuesta a partir de 1 segundo.

RECTIFICACION Y FILTRADO DE CORRIENTE ALTERNA

Uno de los sistemas fundamentales de todo aparato electrónico industrial con aplicación directa, lo constituyen

las unidades de alimentación, que incluyen los sistemas de rectificación de la corriente alterna para obtener corriente continua.

Una unidad de rectificación comprende las siguientes partes: el transformador de entrada de red, el sistema de rectificación propiamente dicho, el filtro y la unidad de protección. Esta división es válida tanto para los sistemas monofásicos como polifásicos.



Sistema de control totalmente automático de una mesa X—Y utilizada para seguir dibujos de libre diseño, de aplicación en confección industrial. (Cortesía: Spin, S.A.).

La elección de la unidad de rectificación apropiada para cada aplicación no es sencilla y requiere conocer de antemano el tipo de carga que va a aplicarse a una determinada fuente, la potencia que deberá de suministrar, la protección o margen de seguridad requerido, el rendimiento, el coste, etc.

Pasaremos por alto un estudio profundo de los tansforma-

dores por no ser objeto de esta obra, repasando no obstante las estructuras de rectificación más frecuentes en las unidades rectificadoras industriales, principalmente de baja tensión, ya que se van a describir unidades de rectificación

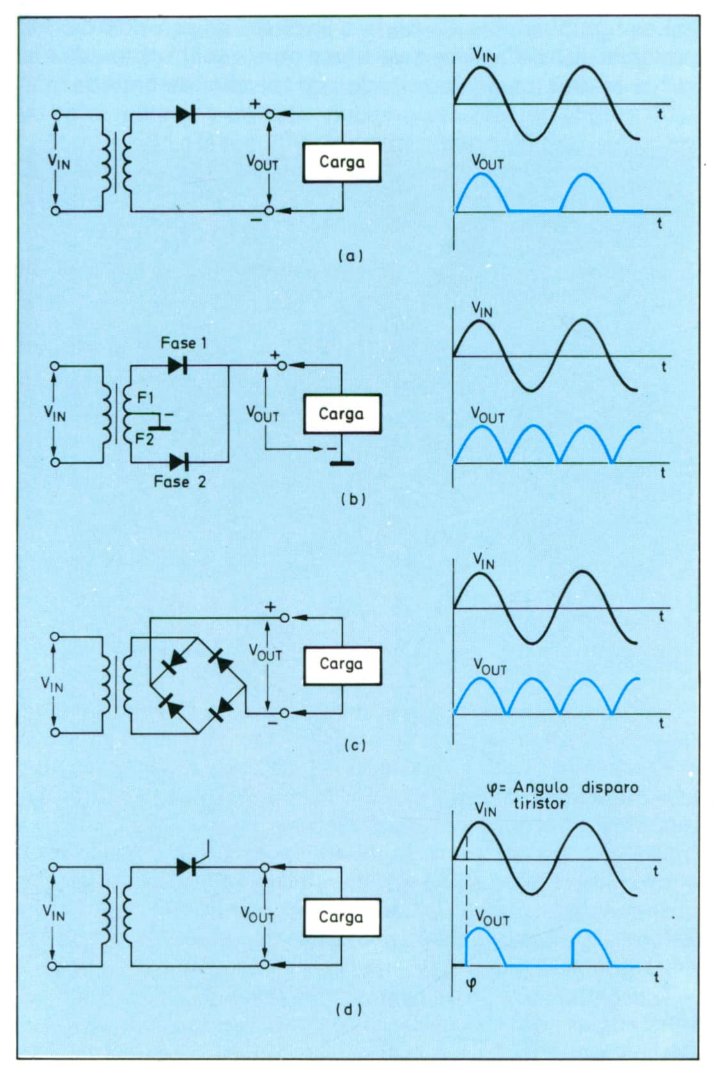
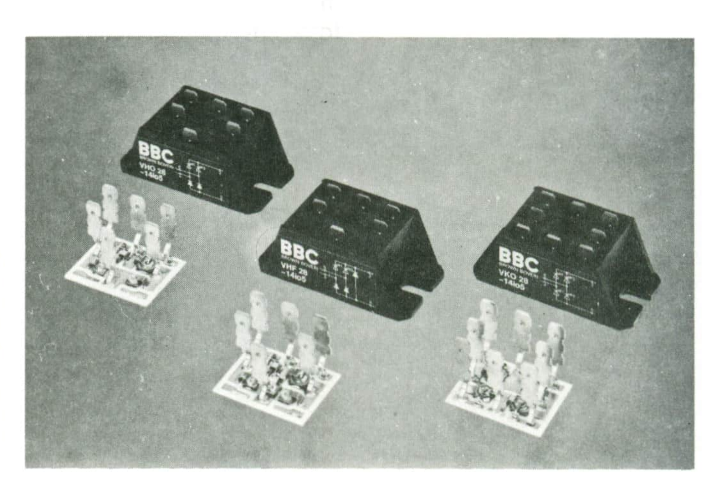


Figura 37. Estructuras electrónicas básicas y señales de entrada y salida de rectificadores:
a) monofásico de media onda;
b) bifásico de media onda;
c) monofásico de onda completa;
d) monofásico controlado de media onda.

aplicables a aparatos de regulación y control, no siendo objeto de estudio aquí los rectificadores en tomas de la red de transporte de alta tensión.

Los rectificadores de media onda son aquellos que se obtienen de la aplicación de un diodo a cada una de las fases del secundario del transformador.

Los rectificadores de onda completa utilizan dos diodos por cada una de las fases, de forma que la señal obtenida a la salida aporta los dos semiciclos de la señal de entrada.



Módulos de rectificación con diodos y tiristores encapsulados. La salida con terminales «faston» facilita mucho el conexionado de cableados, por lo que este tipo de dispositivos son muy apreciados por su inferior coste de instalación o sustitución.

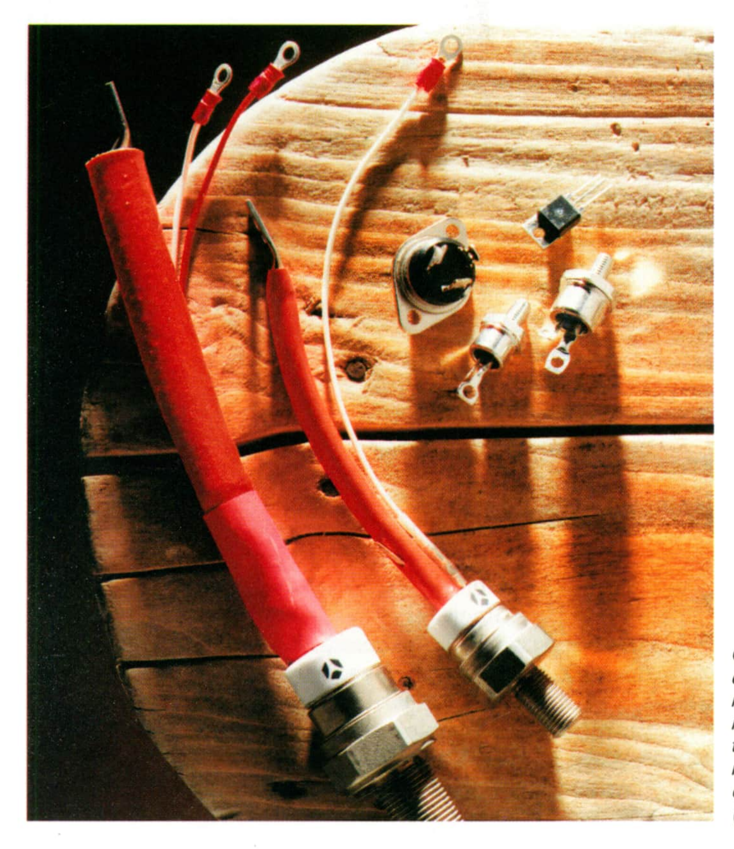
A estos tipos de rectificadores que se han señalado hasta ahora, se les llama naturales, en el sentido de que la acción no forzada de la unidad es la de proporcionar la rectificación tal como se señala en la figura 37.

Existe otro tipo de rectificadores en los que se sustituyen los diodos por tiristores, de forma que se controla la rectificación en función del disparo de los mismos. Esta forma de trabajo tiene la denominación de rectificación controlada debido al mando ejercido a través del tiristor. La misma solución, al igual que en el caso de la rectificación natural, es aplicable tanto a los sistemas monofásicos como a los polifásicos.

Los filtros son sistemas encargados de amortiguar las frecuencias no deseables, tras la rectificación de una corriente alterna.

Tienen dos misiones fundamentales, por un lado la amortiguación propia de la señal resultante tras la rectificación y de otro, la amortiguación de aquellas frecuencias no deseables. Según la acción amortiguadora de los filtros se clasifican en *filtros paso bajo*, en los que se permite el paso de las señales cuya frecuencia es inferior a la frecuencia límite, *filtros paso alto*, en los que no se amortiguan las señales a partir de una cierta frecuencia límite prefijada, *filtros paso banda*, en los que no se amortiguan señales entre un valor mínimo y un valor máximo establecido (figura 40).

Atendiendo a la tecnología de los componentes usados en los filtros, éstos se podrán dividir en *filtros activos* y *filtros pasivos*.



Gama de triacs para el control y gobierno de motores universales y motores de inducción. El tamaño del componente refleja la potencia que son capaces de disipar. (Cortesía: Thomson CSF).

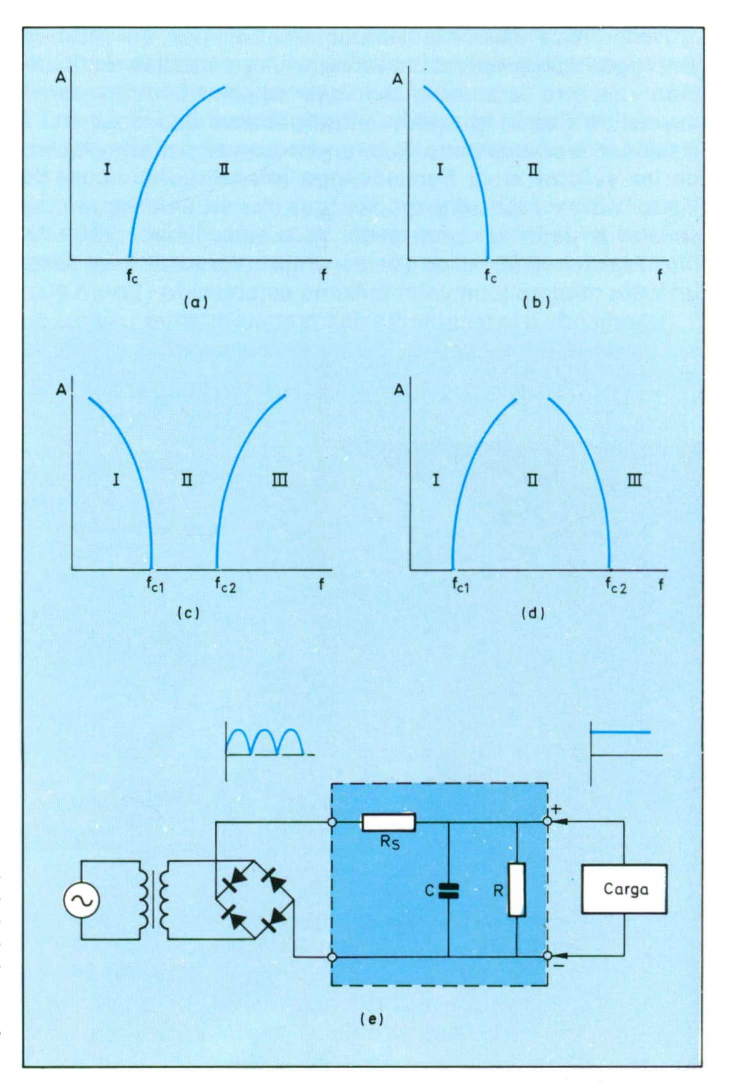


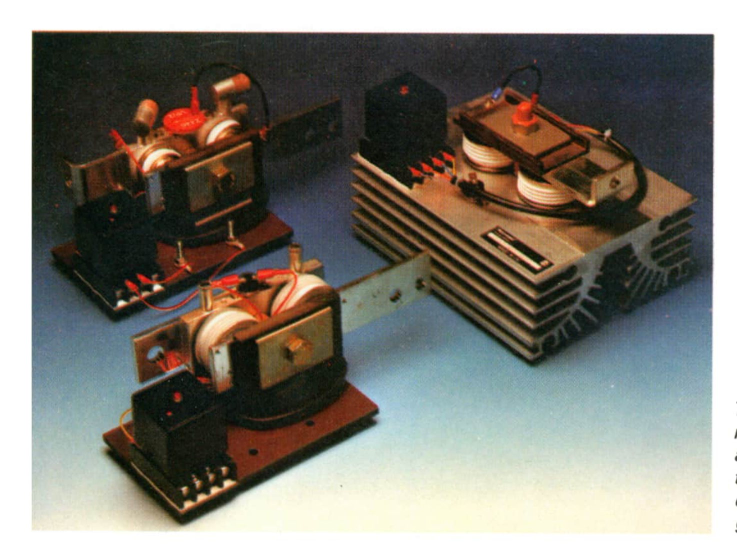
Figura 40. Bandas pasantes de los filtros: a) filtro paso bajo; b) filtro paso alto; c) filtro paso banda; d) filtro elimina banda. En e) se observa la estructura de filtro RC para unidad rectificadora.

Debe recordarse que los componentes pasivos son las resistencias, las bobinas y los condensadores y se consideran componentes activos en general todos los dispositivos semiconductores, bien sean discretos o integrados.

Una unidad de rectificación, que generalmente es la entrada o unidad primaria de cualquier sistema de alimentación, debe estar protegida de forma que se evite el deterioro de los componentes de una forma prematura.

Los fenómenos transitorios son, fundamentalmente, los responsables de estos posibles deterioros.

Los fenómenos transitorios que constituyen la mayoría de averías frente a los cuales deben protegerse adecuadamente los sistemas de rectificación son las *sobretensiones* y las *sobreintensidades*.



Tiristores acoplados a refrigeradores que emplean aire o agua, capaces de trabajar con potencias elevadas. Se emplean en grupos rectificadores.

UNIDADES DE ALIMENTACION Y CONVERTIDORES DE CORRIENTE

Prácticamente todos los equipos electrónicos aplicados a la industria requieren una unidad, ya sea interna al equipo o externa al mismo, que le proporcione la energía suficiente para funcionar: estos bloques son las unidades de alimentación. También hay que decir que la mayoría de las unidades de alimentación proporcionan corriente continua, más adecuada para el funcionamiento de los equipos que alimenta y más sencilla de controlar o regular. Además de ello la compleja tecnología de los componentes electrónicos

activos es más adecuada para funcionar con corriente continua.

Para comprender qué es lo que se entiende por fuente o unidad de alimentación hay que distinguir la red de distribución, los acumuladores y las pilas, que de por sí son

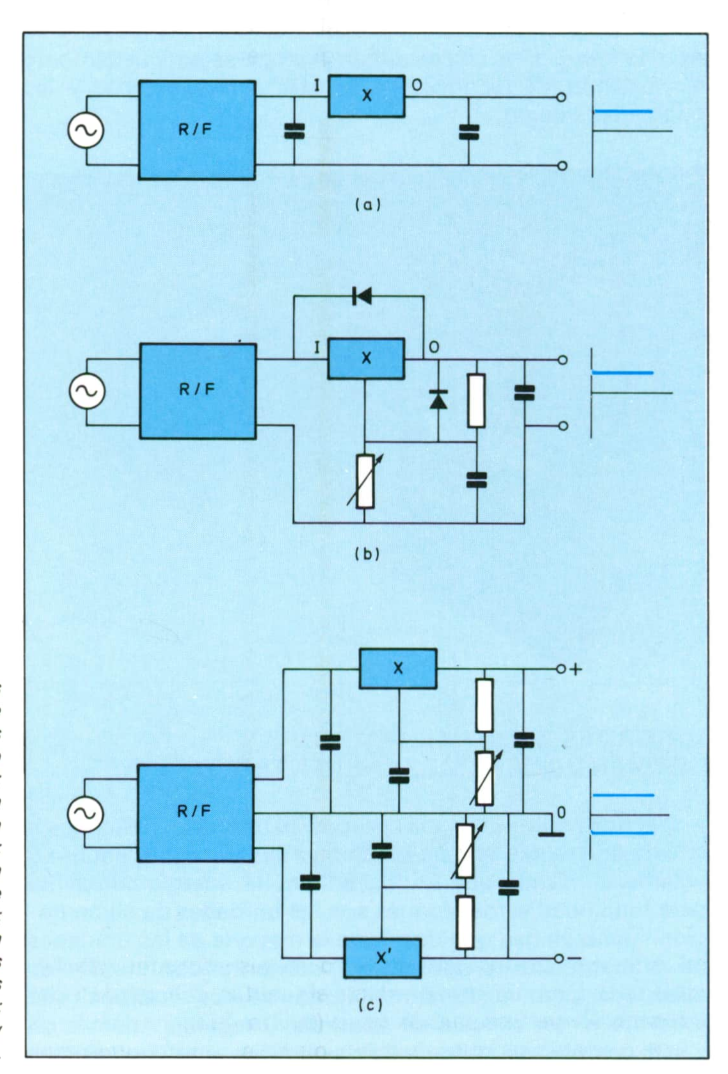
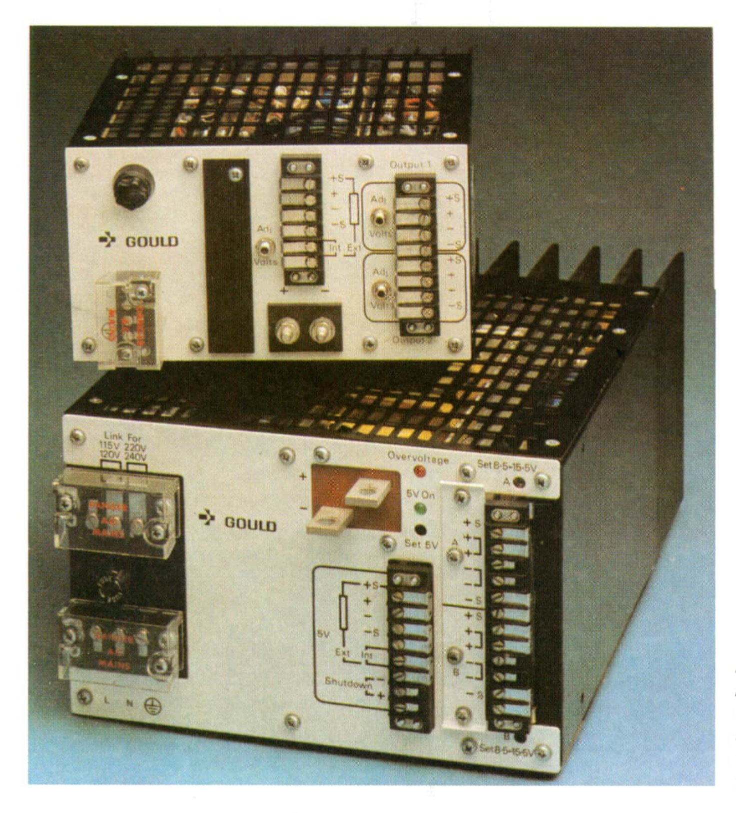


Figura 42. Estructuras típicas de unidades de alimentación reguladas mediante circuito integrado monolítico (X); a) configuración con regulador fijo de salida positiva; b) configuración con regulador ajustable de salida positiva; c) configuración con doble regulador, fijos ambos, de salidas positivas y negativas; (R/F=rectificador y filtro).

capaces de proporcionar energía para que puedan funcionar los aparatos electrónicos, de aquellos sistemas que reciben una energía eléctrica, no aplicable directamente para alimentar los aparatos electrónicos, y que proporcionan en sus salidas una energía útil para tal acción.

Las unidades de alimentación son pues dispositivos capaces de adecuar la energía de alimentación que precisa el aparato electrónico de forma que permita su correcto



Fuentes de alimentación modulares para terminales de ordenador u otras aplicaciones industriales, con bornes de salida para el conexionado exterior.

funcionamiento y evite el deterioro de sus componentes. Al aparato electrónico al que deba alimentar una unidad de alimentación le llamaremos *carga* (figura 42).

Las unidades de alimentación son en sí reguladores, que

contrarrestan las variaciones de consumo de la carga sin modificar sus características funcionales, y no averían los componentes del aparato alimentado.

Los reguladores usados para las fuentes de alimentación son de dos tipos lineales y conmutados.

Los *reguladores lineales* funcionan de forma que reciben siempre tensión continua a la entrada, de valor mayor que el proporcionado a la salida, disipando en forma de calor el exceso de energía disponible en la entrada.

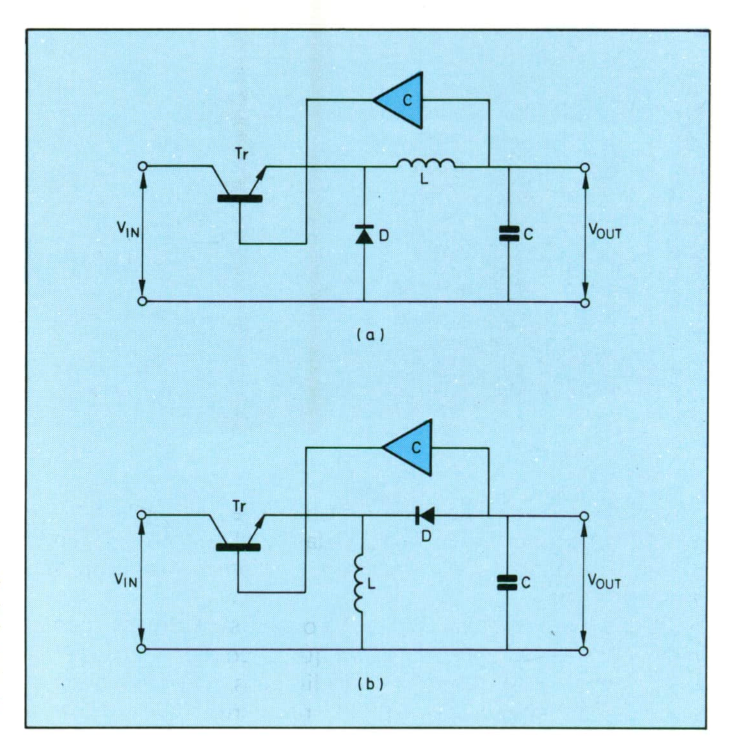
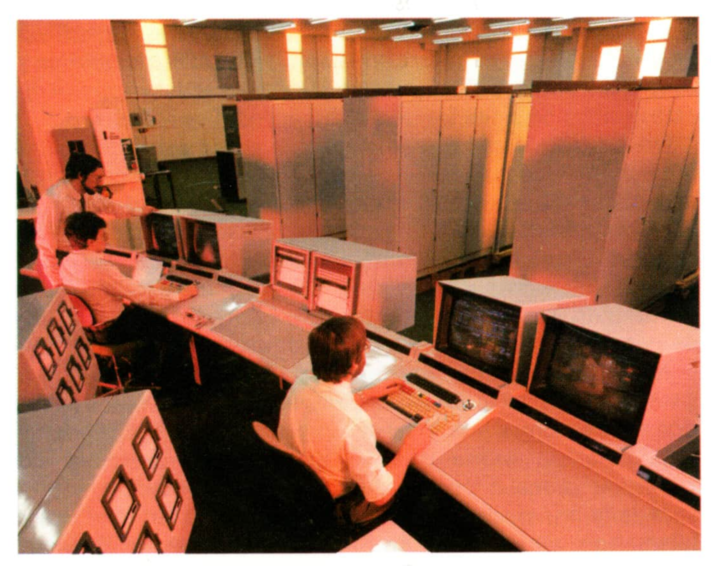


Figura 44. Estructuras básicas de reguladores conmutados: a) a frecuencia propia con convertidor directo; b) a frecuencia propia con convertidor indirecto.

Los *reguladores conmutados* optimizan el aprovechamiento de la energía disminuyendo las pérdidas en forma de calor, de tal modo que se adecúan los valores energéticos necesarios para la carga, mediante la conmutación de la unidad de alimentación, conectándola y desconectándola (figura 44).

Los intervalos de duración de la conmutación son variables en función de la conducción, de manera que los valores medios de la energía gobernada por el regulador coincidan con las necesidades de la carga.



Estación de grandes computadores para centralizar y almacenar una elevada cantidad de datos procedentes de otros centros secundarios de menor capacidad de trabajo. También la Informática tiene una presencia cada vez mayor en la industria y en el control de procesos industriales. (Cortesía: Westinghouse Systems Ltd.).

La frecuencia de conmutación, se elije en la práctica, de un valor fijo para mayor simplicidad, y el uso de frecuencia de conmutación suele tomarse partiendo de la propia frecuencia de la red (50 Hz).

Por todo lo expuesto, parecería obvio, seleccionar fuentes de alimentación conmutadas, ya que el consumo energético es mucho menor que el de las lineales, pero en general, aunque la tendencia es ésta, se requiere un estudio muy profundo de la carga.

En este apartado se van a tratar también los dispositivos llamados *convertidores de corriente.*

Estos dispositivos son responsables de convertir corrientes continuas en otras corrientes de valores diferentes, o en corrientes alternas, como elementos de mayor flexibilidad y menor coste en distribuciones energéticas polivalentes de alimentación.

Los convertidores de c.c./c.c. (corriente continua a corriente continua), c.c./c.a. (corriente continua a corriente alterna) funcionan bajo el principio del bloqueo forzado de tiristores, provocado por un circuito auxiliar. Los convertidores c.c./c.c. reciben el nombre de *troceadores*, y los convertidores de c.c./c.a. de *inversores u onduladores.*

Evidentemente también existen convertidores cuya base no son los tiristores pero, con la aparición de estos últimos y su mayor robustez eléctrica, han eliminado prácticamente de esta aplicación a los transistores y otros dispositivos.

Un troceador es un dispositivo que funciona como un interruptor puesto en serie con la carga, especialmente apropiado para cargas inductivas, por lo que suele ir acompañado de diodos de protección. Dado que la forma de la señal obtenida presentará un elevado rizado, se suele efectuar el montaje de varios circuitos en paralelo para disminuirlo. Un inversor u ondulador es un dispositivo capaz de generar corriente alterna partiendo de corriente continua.

No se debe acabar este apartado sin hacer referencia a sistemas especiales de *alimentación ininterrumpida*, aplicados a los sistemas industriales que requieren alta seguridad y fiabilidad, de forma que se garantice el deterioro de cualquier proceso por un fallo de la alimentación, como sucedería por ejemplo en industrias químicas, en telefonía y telemando, en señalización ferroviaria y aérea, en iluminaciones de emergencia, en alimentación de motores de procesos irreversibles, computadores, etc.

La construcción de estas unidades se basa en los conceptos de regulación expuestos hasta aquí, pero incidiendo especialmente en la fiabilidad de los componentes y duplicando subsistemas de forma que entren en servicio unidades de reserva.

